

# Тезисы Международной конференции и выставки по кольтюбингу и внутрискважинным работам SPE/ICoTA (часть 1)

## SPE/ICoTA Coiled Tubing & Well Intervention Conference & Exhibition 2018 Abstracts (Part 1)

Конференция и выставка по кольтюбингу и внутрискважинным работам прошла в Вудлендсе, штат Техас, США, с 27 по 28 марта 2018 года. Это ежегодное событие было организовано Обществом инженеров-нефтяников (SPE) и Ассоциацией специалистов по кольтюбинговым технологиям и внутрискважинным работам (ICoTA).

### СЕКЦИЯ 1. Внутрискважинные работы в сложных скважинах

В данной секции рассматриваются новейшие технологии по внутрискважинным работам с применением ГНКТ и кабеля в сложных условиях, которые включают в себя многоствольные скважины, сужения НКТ, высокие давления и скважины с длинными горизонтальными участками.

#### Использование технологии ультразвуковой диагностики для оценки модуля ввода в боковой ствол

*М. Сольберг, Archer; М. Сулливан, С. Дрейк,  
ConocoPhillips; Т. Ромметвейт, Д. Трун, Archer;  
Д. Джонс, Quintana Energy Services*

Совершенствование технологии бурения и заканчивания скважин приводит к увеличению количества многоствольных скважин, которые сооружаются для уменьшения общего количества скважин и увеличения области дренирования пласта. Однако подобные технологии приводят к увеличению сложности бурения, что, в свою очередь, может привести к авариям и осложнениям, связанным с некачественным заканчиванием скважин. Возможности технологии ультразвукового сканера предоставляют новое решение для многоствольных скважин.

Несколько попыток провести внутрискважинные работы в верхнем боковом стволе многоствольной скважины для крупной нефтедобывающей компании на Аляске не увенчались успехом. Для выявления проблемы были использованы различные технологии, но конструктивных результатов получено не было. В мае 2017 года для проведения инспекции модуля ввода в боковой ствол была использована технология ультразвукового зондирования. В статье описываются данные, собранные с помощью ультразвукового имиджера, демонстрируя таким образом новый метод проведения диагностики в многоствольных скважинах.

Ультразвуковой забойный имиджер основан на

The Coiled Tubing & Well Intervention Conference & Exhibition took place in Woodlands, Texas, USA on March 27–28, 2018. The annual event was traditionally organized by the Society of Petroleum Engineers (SPE) and the Intervention & Coiled Tubing Association (ICoTA).

### SESSION 1. Intervention in Challenging Wells

This session focuses on the latest technologies for wireline and coiled tubing interventions in challenging wells including multilaterals, tubing restrictions, high pressure, and extended reach.

#### Utilizing Ultrasonic Imaging Technology to Evaluate a Lateral Entry Module

*Solberg Marianne, Archer; Sullivan Michael,  
Drake Steve G., ConocoPhillips; Rommetveit  
Tarjei, Troup Duncan, Archer; Johns Joel,  
Quintana Energy Services*

As a result of improved drilling and completion techniques, an increasing number of wells worldwide utilize multilateral systems to minimize the number of surface penetrations required to maximize reservoir contact. However, these systems increase the complexity, which in turn introduces new failure modes and challenges related to inspection of erroneous completions. The scanning range and measurement capabilities utilizing ultrasound imaging techniques provide a new solution for well diagnosis of multi-lateral completions.

Several attempts to enter the upper lateral of a multi-lateral well operated by a major oil company in Alaska, USA had been unsuccessful. Different technologies were attempted to diagnose the problem but no conclusive results were obtained. In May 2017, an ultrasonic imaging technique based on medical ultrasound imaging was used to inspect the Lateral Entry Modules (LEMs). This paper presents the data collected by an ultrasound downhole scanner demonstrating a novel method for diagnosing multi-lateral wells.

известной технологии ультразвукового исследования (Angelsen, 2000) для получения снимков компоновки заканчивания. Элемент 288, набор периферийных ультразвуковых датчиков вместе с технологией формирования направленного сигнала позволяют оптимизировать качество снимков в колоннах разного диаметра без двигающихся частей. Датчик работает в эхоимпульсном режиме. Исследование проводится непрерывно с получением снимков в режиме реального времени. В 2011-м имиджер использовался для инспекции повреждений песчаного фильтра (Hyde-Barber). Данный тип имиджера используется с 2009 года для исследования повреждений компоновки заканчивания.

Модуль ввода в боковой ствол был исследован с помощью имиджера на наличие повреждений. В такой же скважине был получен снимок действующего модуля в рабочем состоянии. После этого было проведено сравнение двух снимков. Полученные данные, визуализированные с помощью 2D-снимков, шкалы серых тонов и преобразованных 3D-изображений, показали, что верхняя часть компоновки модуля не была установлена точно напротив вырезанного окна бокового ствола. Таким образом, была выявлена причина неудачных попыток войти в боковой ствол. Для документального отображения полученной информации была проведена инспекция с помощью ультразвукового имиджера. Результаты исследования помогли заказчику выявить проблемы и предоставили информацию для дальнейшего решения их.

#### **Диагностика набухающих пакеров с помощью мультidetекторного импульсного нейтронного каротажа и тетраборнокислого натрия**

*М.Цедилло, А.Зетт, К.Хан, Р.Элгоними, Б.Раеси, Д.Иттер, Д.Хэкер, Н.Лэнди, BP Exploration Alaska*

Диагностика набухающих пакеров является необходимым видом работ в рамках программы по исследованию и диагностике скважин на месторождении Прадхо-Бей. На текущий момент на месторождении пробурено несколько скважин, законченных нецементируемыми хвостовиками с более чем 500 водо- или нефтенабухающими пакерами на три продуктивных пласта. После ввода в эксплуатацию скважин с таким типом заканчивания на некоторых из них были выявлены ранние прорывы газа и воды. Поэтому мотивом для написания этой работы послужила потребность в технологии точного определения причин прорывов: особенность пласта или повреждение компоновки заканчивания.

Технология исследования с помощью тетраборнокислого натрия для определения каналов прорыва флюида успешно применялась на месторождениях в районе Норт-Слоуп на Аляске, в основном в горизонтальных цементируемых и перфорируемых скважинах. Однако данная технология еще не была применена для оценки набухающих пакеров в нецементируемых компоновках заканчивания горизонтальных скважин. Хотя для проведения диагностики в

The ultrasound downhole scanner utilizes established technology applied in medical ultrasound imaging (e.g. Angelsen 2000) to obtain images and measurements of downhole completion components. A 288 element, 3.3MHz circumferential ultrasound transducer array combined with electronic beamforming allows the flexibility to optimize image quality for different tubing sizes with no moving parts. The transducer operates in pulse-echo mode. Logging is performed dynamically with images obtained real-time. In 2011, the scanner was used to measure damages in sand screens (Hyde-Barber et al.) and has since 2009 been used to image and measure downhole completion components worldwide.

The possibly defective LEM was investigated by the scanner. A reference scan of a fully functional LEM in the same well was also made and the results from the two compared. The ultrasound data, visualized both as 2D grey-scale images and 3D-rendered images, clearly show that the upper LEM assembly was not properly aligned with the window of the lateral. Thus, explaining the past unsuccessful attempts to enter the completion. Measurements were made directly on the ultrasound images to document the findings. The results from the survey helped the customer to understand the situation of their well and gave information which was valuable for the decision making process.

#### **Swellable Packer Evaluation Using Multi-Detector Pulsed Neutron Logging and Borax**

*Cedillo Gerardo, Zett Adrian, Han Xiaogang, Elghonimy Rana, Raeesi Behrooz, Itter David, Hecker Dodie, Landi Nancy, BP Exploration Alaska*

Swellable packer evaluation has become a critical component of Greater Prudhoe Bay (GPB) well design, surveillance and diagnostic strategy. Currently in the field there are several wells constructed with cementless completions with over 500 water or oil swellable packers across three different reservoirs. Several early gas or water breakouts have been documented since these types of completions have been deployed and the need for an accurate diagnostic technique to distinguish between a reservoir phenomenon or a completion failure motivated this work.

The borax evaluation technique historically has been successfully used in oil fields on the North Slope of Alaska to detect fluid channeling mainly in horizontal cemented and perforated wells.

обоих случаях используется один и тот же прибор мультidetекторного импульсного каротажа с записью либо в реальном времени, либо с накопительным устройством, существует принципиальная разница между нецементируемыми и цементируемыми (перфорированными) компоновками заканчивания. Игнорирование этой разницы может привести к некорректному подбору нейтронов и некорректной интерпретации данных, а следовательно, к неправильной диагностике и ремонту.

Целью данной статьи является описание выполненного нейтронного моделирования, выполненных работ на скважине, процесса интерпретации данных и результатов диагностики данного типа заканчивания.

### **Новейшая технология скважинного трактора для повышения эффективности в сланцевых породах**

*В. МакКатчен, Д. Лонг, М. Замбрано, Altus Intervention; А. Сорг, Rice Energy*

При разработке компоновок скважинного трактора для наклонных или горизонтальных скважин, мощность трактора, необходимая для доставки забойного инструмента на заданную глубину, определяется весом применяемого кабеля, максимально допустимым весом доставляемого инструмента, интенсивностью искривления ствола скважины и заданной глубиной. До сих пор до операции необходимо было соответствующим образом рассчитывать колонну ГНКТ, используемую для доставки забойного инструмента скважинным трактором. Скорость спуска ограничивается максимально возможной мощностью трактора, которая необходима для доставки инструмента на заданную глубину.

Возможность по требованию настраивать мощность скважинного трактора в зависимости от скорости позволяет обеспечить максимально возможную скорость в вертикальном участке скважины, где не требуется большая мощность трактора. При увеличении глубины скважины или в участках наиболее интенсивного набора кривизны скважинный трактор может быть настроен для обеспечения максимальной мощности, необходимой для достижения заданной глубины. Управление трактором в режиме реального времени позволяет значительно сократить временные затраты на операцию. Управление осуществляется с помощью независимого контроля каждой секции трактора. Таким образом, достигается максимально эффективное соотношение «скорость/мощность» для каждого участка скважины.

На текущий момент было выполнено более 70 работ с использованием технологии селективного контроля секций скважинного трактора на различных месторождениях США. Работы выполнялись множеством компаний, предоставляющих услуги внутрискважинных работ с электрическим кабелем различным добывающим и разведочным компаниям. Например, на некоторых скважинах, где применялась данная технология, была зафиксирована рекордная

This technique however, was never used to evaluate swellable packers in horizontal cementless completions. Even when the same multi-detector pulsed neutron (MDPN) instrument could be used in real time or memory conveyance to evaluate either one, there are fundamental differences in how these cementless completions are designed and evaluated compared to the cemented and perforated ones. Ignoring those differences could lead to the wrong nuclear attribute selection and incorrect interpretations, diagnostics and remediation strategies.

The objective of this paper is to describe the nuclear modelling performed, the wellsite procedures used, the interpretation workflow, and the results of evaluations of these completions.

### **Latest Tractor Technology Provides Performance Improvements in Unconventional Shales**

*McCutcheon Wade, Long Jarrod, Zambrano Mauro, Altus Intervention; Sorg Andrew, Rice Energy*

When configuring tractor assemblies for highly deviated or horizontal conveyance, the tractor power required to deliver the conveyed passenger tool to the target well depth is determined by the weight of the deployed cable and payload, the tortuosity of the well trajectory, and the extent of the target depth. Until now, the tractor toolstring needed to be configured accordingly before being run in hole. Conveyance speed is compromised for the maximum power requirements expected to ensure the tractor is capable of delivering the payload to the target depth.

Having the ability to adjust the power versus speed on command allows the tractor to be optimized to deliver the highest speed in the earlier parts of the well where maximum power is not required. In the deeper portions, or where the well becomes more tortuous, the tractor can be controlled to provide maximum power and ensure the target depth is achieved. Real time control delivers considerable reductions in total conveyance operating time. This is achieved by independently controlling the various drive sections to deliver the optimum speed/power configuration per well section.

There have been more than seventy jobs completed to date utilizing selective functionality across a variety of US land tractor conveyance operations. The jobs have been performed with a range of electric line companies while servicing numerous exploration and production (E&P) operators.

дистанция использования трактора более 4500 м. Применение технологии управления скважинным трактором в режиме реального времени позволило сократить временные затраты более чем на 40%. Помимо повышения эффективности, также снизились операционные риски благодаря сокращению времени работы трактора.

На момент написания статьи технологию селективного контроля секций скважинного трактора может предложить только одна сервисная компания, однако новые стандарты использования скважинных тракторов уже установлены.

### **Технология навигации скважинного трактора на кабеле**

*П. Фоучер, Р. Пууртен, Schlumberger*

В статье описывается разработка скважинного трактора, спускаемого на кабеле с механизмом отдельного закрытия рычагов, который позволяет снизить тяговое усилие на одном рычаге, в то время как другие обеспечивают необходимую тягу для преодоления возросшего сопротивления при прохождении препятствий.

Скважинные тракторы, спускаемые на кабеле, позволяют осуществить доставку каротажных приборов и перфораторов, а также проводить другие внутрискважинные работы в наклонно-направленных и горизонтальных скважинах. Во многих случаях спуск трактора на кабеле обладает преимуществом перед спуском на ГНКТ благодаря компактности, быстрой установке, минимальному искажению потока и быстрой скорости. Однако тракторы не могут достаточно легко преодолеть такие препятствия, как сужения колонны, элементы компоновки заканчивания с малым внутренним диаметром, участки повреждения колонны, шлам.

Данная проблема связана с принципом работы трактора. При прохождении препятствия требуется повышение толкающего усилия, а следовательно, необходимо оказать большее давление на рычаги трактора для увеличения сцепления. В этот момент один из рычагов трактора должен закрыться для обхода препятствия. Для этого необходимо снижение давления на этот рычаг. Первоначально предложенным решением был спуск компоновки из двух тракторов. При прохождении препятствия рычаги одного трактора закрываются. Данный метод требует большого количества элементов компоновки, а также увеличивает длину КНК.

Для решения данной проблемы предлагается использовать скважинный трактор с возможностью отдельного закрытия рычагов, спускаемый на кабеле. Эта функция позволит убрать тяговое усилие на одном рычаге, в то время как другие обеспечивают необходимую тягу для преодоления препятствий.

Встроенный в прибор механизм можно задействовать в любое время без специальной подготовки, планирования или дополнительного модуля. Это позволяет избежать ненужных СПО для смены КНК в случае обнаружения неожиданных препятствий в скважине. ▶

Examples include record wells with lateral lengths requiring over 15,000 ft of tracting. The application of this in-well, real-time adjusted optimization has resulted in tractor conveyance time savings of over 40%. In addition to the efficiency gains, there has also been a reduction in operational risk due to less time spent in hole tracting.

Selective tractor functionality is commercially available from one provider at the time of writing, but it is quickly setting standards for all tractor conveyance providers.

### **Wireline Tractor Advanced Restriction Navigation**

*Foucher Pierre-Arnaud, Poorten Ryan Vander, Schlumberger*

A wireline tractor has been developed with an integrated individual arm-closing mechanism that enables losing traction in only one arm while all the others are delivering the traction necessary to overcome the increased force in navigating an obstacle.

Wireline tractors convey logging tools, perforating guns, and mechanical services in highly deviated and horizontal wells. In many cases, they are an efficient alternative to coiled tubing because of their small footprint, quick deployment, minimal flow disruption, and fast tracting speed. However, tractors cannot easily negotiate obstacles such as restrictions, completion equipment, pipe damage, and debris accumulation.

This problem is tied to the traction principle. When the tractor encounters an obstacle, higher push force is required, which means higher pressure is needed on the arms to increase the grip. At the same time, one arm must close to navigate the obstacle, which requires lower arm pressure. The solution has been to operate two entire tractors in tandem and close one tractor at a time through the restriction. This method necessitates to run an excessive number of assets and increases the toolstring length.

To solve this problem, a wireline tractor has been developed that uses an individual arm-closing mechanism. This unique feature enables losing the traction of only one arm while the other arms are delivering the traction to overcome the increased force.

This mechanism is built in the tool and is available at any time without any specific tool preparation, planning, or module addition, which eliminates undesirable trips in and out of the wells to reconfigure the toolstring in case of an unexpected obstacle. ▶

This innovation has been successfully

Этот механизм был успешно опробован на многих скважинах. В данной статье будет представлено описание работ на двух скважинах в Мексиканском заливе и Северной Америке с использованием данного механизма с целью уменьшения длины КНК и сокращения количества элементов КНК для преодоления сужений колонны заканчивания.

На первой скважине функция отдельного закрытия рычагов трактора позволила пройти через несколько боковых мандрелей, которые из-за своей конструкции всегда являлись препятствием для скважинных тракторов. На второй скважине эта функция позволила избежать СПО для смены компоновки трактора при обнаружении сужения в колонне заканчивания.

Инновационная конструкция скважинного трактора с возможностью отдельного закрытия рычагов значительно повышает эффективность трактора по выполнению заданных целей, снижает временные затраты, а следовательно, и стоимость работы.

### **Внутрискважинные работы в истощенных скважинах с большим отходом от вертикали с применением ГНКТ и газожидкостных смесей**

*Т. Вильямс, Halliburton*

Целью данной работы является описание основных принципов и технологий для выполнения внутрискважинных работ в горизонтальных и наклонно-направленных скважинах с низким пластовым давлением, зонами поглощения и выработанными пластами. В статье приводится обсуждение примера надежного и безопасного выполнения стандартной работы по промывке и освоению скважины, которое включает в себя упрощенные расчеты, используемые вместе с новейшим программным обеспечением. Выполнение работ с ГНКТ в горизонтальных скважинах с участками поглощения несет в себе высокие риски. Поглощение жидкости скважиной приводит к риску недостаточного удержания твердых частиц во взвешенном состоянии и риску потери циркуляции, что может привести к дорогостоящим авариям, оставлению ГНКТ или другого оборудования в скважине, а также к снижению продуктивности скважины. Для скважин, расположенных на суше в США, с выработанными пластами и низким пластовым давлением, в которых из-за поглощений нельзя поддерживать необходимый уровень столба жидкости, надежным и успешным методом ремонта являются работы с применением ГНКТ. Эти работы включают в себя промывку, подготовку ствола скважины к повторному ГРП, фрезерование на депрессии в горизонтальных участках.

Смесь азота и растворов на водной основе используется для понижения гидростатического давления, оказываемого на пласт, что обеспечивает продолжительную циркуляцию. Растворы на водной основе были подобраны специально для каждой операции с учетом породы продуктивного пласта, состава пластовой жидкости, требований к выполнению работы, параметров и ограничений забойной компоновки, совместимости с химическими

квалифицированы в многих тракторных операциях. Два случая в Мексиканском заливе и в Северной Америке будут представлены в которых эта функция была instrumental для уменьшения длины инструментального трактора и предотвращения непредвиденных ограничений завершения.

В первой операции, это решение позволило проехать через несколько боковых мандрелей, которые являются известными проблемами для тракторов из-за их сложной геометрии. Во второй операции, это сэкономило неизбежную поездку на поверхность для переконфигурации трактора, когда трактор столкнулся с неожиданным ограничением завершения.

Прорывной дизайн механизма закрывающих рычагов значительно увеличивает общую способность трактора успешно достигать цели работы, сокращая непродуктивное время, что приводит к более эффективным операциям и снижению затрат.

### **Depleted Well Intervention in Extended Laterals Using Coiled Tubing and Commingled Fluid Systems**

*Williams Troy A., Halliburton*

Целью данной работы является четкое описание основных принципов и техник, необходимых для успешного проведения работ в скважинах с низким давлением, thief zones, и/или истощенных резервуарах – конкретно, горизонтальных или сильно отклоненных. Работа направлена на обзор рассмотрений и предоставление примера надежного выполнения в ее наиболее базовой форме, включая упрощенные расчеты, разработанные для использования в сочетании с передовым программным обеспечением, доступным в отрасли. Проведение работ в скважинах с потенциалом потери жидкости является по своей сути высоким риском. Риск плохой циркуляции или потери жидкости в скважине приводит к дорогостоящим авариям, потере оборудования, или снижению добычи. Для наземных операций в США, скважины с истощенными и низкими резервуарными давлениями, которые не могли поддерживать гидростатический столб жидкости, успешно эксплуатируются с применением комбинированных систем азота и воды. Эти работы включают очистку песчаных скважин, подготовку трещиноватых скважин к повторному ГРП, и балансировку скважин в расширенных боковых стволах.

Комбинированные системы азота и воды были использованы для снижения гидростатического давления, оказываемого на пласт, что позволило продолжить циркуляцию. Системы были адаптированы для каждой скважины с учетом типа пласта, состава пластовой жидкости, требований к выполнению работы, параметров и ограничений забойной компоновки, совместимости с химическими

реагентами, способности удерживать частицы выбуренной породы во взвешенном состоянии. Мониторинг скважинных условий с соответствующим изменением параметров газожидкостной смеси позволяет значительно снизить вероятность аварии.

## СЕКЦИЯ 2. Повышение эффективности внутрискважинных работ

На текущий момент основными задачами в энергетической отрасли являются снижение затрат и повышение эффективности работ. Эффективность внутрискважинных работ можно повысить путем внедрения новых технологий, анализа проведенных работ и сокращения временных затрат с помощью мониторинга в режиме реального времени. В этой секции представлены доклады по новым уникальным техническим решениям, внедренным в технологический процесс по итогам переговоров и обсуждений и позволившим повысить эффективность внутрискважинных работ.

### Лабораторные испытания инновационной технологии обработки металлических поверхностей для понижения трения при работах с ГНКТ в горизонтальных скважинах

*К. Эллиотт, NOV Quality Tubing; С. Лувеску, Baker Hughes, a GE Company; К. Йекта Ганже, Essential Coil Well Services; Й. Лу, NOV Quality Tubing*

За последние несколько лет добывающие компании удлиняли горизонтальные участки скважин для обеспечения максимального вскрытия продуктивного пласта и высоких дебитов. Однако в условиях длинных горизонтальных участков увеличивается трение между ГНКТ и обсадной колонной. При этом падает вероятность, что ГНКТ традиционного размера достигнет заданной глубины без искривления. Для того чтобы ГНКТ достигала заданной глубины, применяются смазывающие агенты и вибрационные приборы. Однако некоторые из этих химических агентов и инструментов могут вести себя непредсказуемо на забое скважины. Кроме того, смазывающие агенты являются дорогостоящими в условиях всеобщей тенденции к снижению стоимости внутрискважинных работ.

В данной статье представлен доклад о лабораторных испытаниях новой технологии обработки поверхности ГНКТ с целью понижения трения. Эта технология доказала свою эффективность по понижению трения путем изменения характера поверхности ГНКТ. После обработки поверхность ГНКТ становится гладкой, с углублениями микронного размера, удерживающими смазывающий агент, который сложно отмыть с поверхности.

Новая технология обработки металлических поверхностей была опробована на нескольких образцах ГНКТ. В лаборатории был проведен анализ трения между обрабатываемыми образцами ГНКТ и образцами обсадных колонн с помощью прибора для исследования линейного износа. Прибор разработан специально для измерения коэффициентов трения между ГНКТ и обсадной колонной при забойных

limitations, chemical compatibility, cutting suspension potential, and foam integrity. When combined with real-time monitoring of, and response to, well conditions, the occurrence of job failure was greatly reduced.

## SESSION 2. Improving Operational Efficiency

The challenge in the current energy environment is to reduce costs and maintain efficient and effective operations. Improving operational efficiency can be achieved through new technology, analysis of past job data, and reduction of operational time through real-time data. This session covers unique solutions successfully implemented through discussions utilizing various methods of intervention solutions to improve operational efficiency.

### Laboratory Evaluation of a Novel Metal Surface Treatment for Coiled Tubing Friction Reduction in Extended-Reach Wells

*K.J. Elliott, NOV Quality Tubing; S. Livescu, Baker Hughes, a GE Company; K. Yekta Ganjeh, Essential Coil Well Services; Y. Li, NOV Quality Tubing*

In the past few years, operators have been increasing the lateral lengths of horizontal wells to maximize the reservoir contact and production rates. However, the frictional forces between the coiled tubing (CT) and casing in those long lateral wells also increase, limiting the ability of conventional CT sizes to reach the end prior to lock-up occurring. Technologies such as lubricants, vibratory tools and tractors are usually used to extend the CT reach. However, the downhole performance of some of these friction-reducing technologies is sometimes unpredictable and inconsistent. In addition, with the current industry's trends to lower the overall intervention costs, lubricants may be considered too expensive in long laterals.

This paper reports on the laboratory evaluation of the friction-reduction performance of a novel CT surface treatment. This surface treatment has been proven to be effective at reducing the frictional forces by altering the CT surface finish. After the treatment, the CT surface is smoother and has micron-size dimples that work as small reservoirs, preventing a lubricant from being easily washed off the CT surface.

The new metal surface treatment was applied to several CT samples. The friction between the treated CT samples and various actual casing samples was studied in a laboratory on a linear friction apparatus. This instrument is specifically designed to

условиях с технологическими жидкостями, используемыми при операциях с ГНКТ (и без) и при температурах до 100 °С. Были проведены лабораторные испытания для определения способности обработанных и необработанных образцов ГНКТ удерживать смазывающий агент при скольжении по поверхности обсадных колонн.

В настоящее время существуют две основные проблемы, связанные с использованием смазывающих агентов для понижения трения при работах с ГНКТ. Во-первых, чтобы уменьшить объем смазывающего агента в протяженных горизонтальных участках, а следовательно, и стоимость работы, многие добывающие компании предпочитают прокачивать смазывающий агент не непрерывно, а пачками. Тем не менее большая часть смазывающего агента остается внутри ГНКТ, и только небольшое количество прилипает к внешней поверхности ГНКТ и обсадной колонны, где необходимо уменьшить трение. Во-вторых, даже если смазывающий агент покрывает внешнюю поверхность ГНКТ, то существует риск быстрого смывания, если агент не закачивается непрерывно.

Результаты лабораторных испытаний, полученные в результате этого исследования, показали снижение коэффициентов трения после обработки поверхности ГНКТ. Эти результаты подтверждают возможность понижения трения при производстве гибких труб с обработанной поверхностью с использованием таких технологий снижения трения, как смазывающие агенты, вибрационные инструменты и скважинные тракторы. Снижение трения также было зафиксировано и без использования таких технологий. Преимущество использования новой технологии обработки металлической поверхности заключается в том, что смазывающий агент остается дольше в порах микронного размера на поверхности ГНКТ и более эффективно понижает трение.

Новизна данной статьи включает в себя тот факт, что обработка поверхности ГНКТ может понизить трение как сама по себе, так и в сочетании с технологиями понижения трения, такими как применение смазывающих агентов, вибрационных инструментов или тракторов. После обработки поверхность ГНКТ становится гладкой, с порами микронного размера, которые удерживают смазывающий агент и предотвращают его смывание. Лабораторные испытания с новыми образцами ГНКТ показали снижение коэффициентов трения по сравнению с образцами с необработанными поверхностями.

#### **Новое поколение инструментов для отсоединения: надежность, безопасность, эффективность и высокое качество**

*Г.Ау, Т.Шейретов, С.Элстроп, К.Стефан Ривас, К.Белликард, Й.Кобл, Schlumberger*

В статье описывается новый высокопрочный электрический инструмент для отсоединения, который заменяет обычный узел разъединения и достигает того же показателя прочности, что и показатель максимально допустимого натяжения

measure the coefficients of friction between CT and casing at downhole conditions, such as with or without fluids relevant to coiled tubing operations and at temperatures as high as 100 °C. Additionally, laboratory tests were performed to determine the ability of the treated and un-treated CT samples to retain lubricants when sliding on the casing surfaces.

Currently, there are two main operational challenges of using lubricants for reducing the CT friction. First, to reduce the lubricant volume in long laterals, and therefore the intervention costs, many operators choose to pump lubricant slugs instead of pumping the lubricant continuously. However, most of the lubricant is consumed inside the CT, and only a small lubricant amount adheres to the outside CT and casing surfaces where the friction needs to be reduced. Secondly, even if the lubricant coats the outside CT surface, there is a risk of being quickly washed off, unless new lubricant is pumped continuously.

The laboratory testing results obtained from this study have shown a reduction of the coefficients of friction after the CT metal surface treatment. These results prove the friction-reduction potential of manufacturing a CT with the new treated surface for extending the CT reach with or without friction-reducing technologies such as lubricants, vibratory tools and tractors. The advantage of utilizing the new CT metal surface treatment is that a lubricant remains longer in the micron-size pores on the CT surface and reduces the CT friction more consistently.

The novel idea in this paper encompasses the fact that the CT metal surface treatment has the potential to reduce the CT friction by itself and further in combination with friction-reducing technologies such as lubricants, vibratory tools or tractors. The new CT surface is smoother and has micro-pores that can prevent a lubricant from being easily washed off the CT surface. The laboratory tests with the new CT samples have shown reduced coefficients of friction when comparing to conventional CT coupons with un-treated surfaces.

#### **Next-Generation Release Device: Strong, Safer, Efficient, and Rigorously Qualified**

*Greg Au, Todor Sheiretov, Stephanie Elstrop, Caroline Stephan Rivas, Claire Bellicard, Yoann Couble, Schlumberger*

A new high-strength electrical release device has been developed that supersedes the typical weakpoint and achieves the

инструмента. Высокопрочный инструмент отсоединения позволяет спускать в скважину тяжелые приборы на кабеле и удлиненные перфораторы, что дает возможность повысить эффективность работы. Инструмент прошел тщательную проверку на качество для обеспечения безопасной и надежной эксплуатации в сложных условиях.

Технология включает в себя систему механического разъединения, которая соединяет две секции с помощью раздвижных клиньев. Инструмент работает по новым каналам телеметрии, которые могут использоваться совместно с другими каналами связи. В случае потери электрического канала связи во время работы в инструменте опционально предусмотрена батарея с таймером.

После подачи сигнала на отсоединение по электрическому каналу связи двигатель активирует механизм отсоединения, который выполняет разделение инструмента даже в условиях значительного остаточного натяжения колонны. Испытание инструмента подтвердило возможность его использования с тяжелыми приборами и ударостойкость к длинным перфораторам.

На испытаниях инструмент отсоединения по электрическому каналу связи продемонстрировал высокие показатели работы в самых сложных операциях. В полевых условиях инструмент использовался как вторичный инструмент отсоединения, который успешно работал в агрессивных условиях проведения перфорации. Одним из проектов, где применялся данный инструмент, был проект, для реализации которого было привлечено 6 производственных линеек. Инструмент отсоединения спускался в скважину на ГНКТ вместе с длинной компоновкой перфоратора для работы в пласте с высоким содержанием сероводорода и углекислого газа. Инструмент позволил значительно уменьшить количество СПО, что привело к повышению эффективности проекта. На другом проекте инструмент спускался в скважину на кабеле вместе с длинной компоновкой перфоратора. Инструмент позволил снизить количество необходимых СПО и сократить временные затраты для заказчика. Данные работы были успешно выполнены благодаря испытаниям. Например, в рамках комплексного испытания для моделирования забойных условий использовалась компоновка перфоратора с максимально допустимой длиной более 36 м. В случае продолжения такой тенденции этот инструмент изменит будущее перфорации на кабеле.

Управляемый высокопрочный инструмент отсоединения по электрическому каналу связи позволяет проводить спуск тяжелых приборов и длинных перфораторов как на ГНКТ, так и на кабеле. Эта возможность позволит повысить эффективность работы скважин, а также установит новые стандарты выполнения перфорации на кабеле.

#### **Максимальное использование потенциала данных, полученных во время работы**

*Крис Мерфи, ВНР; Эндрю Самс, СМУ*

same strength as the tool tension rating. A stronger release device facilitates running heavier tools on wireline, along with the ability to run significantly longer gun strings, which increases operational efficiency. The release device was subjected to a rigorous qualification program conducted to ensure the highest safety and reliability of this device under demanding conditions.

This technology uses a motorized release that holds two sections together via retractable dogs. The release device operates using new telemetry protocols that are combinable and segregated from other communication schemes. An optional battery with a preset timer provides redundant control if electrical communication is lost during operations.

After the electrical release signal is sent, the motor activates the release mechanism, enabling the device to separate, even with significant residual tension on the toolstring. Completion of rigorous qualification testing was necessary to confirm performance for the heavy load requirements and high shock levels characteristic of long perforating toolstrings.

The new electrical release device has delivered flawless performance in seemingly impossible well programs. In field cases, the device was the optimal answer in providing a secondary release device that is high functioning in the harsh perforating environment. One case presents the completion of a project that involved the collaboration of six product lines. The release device was used with coiled tubing deployment of extremely long gun strings in a reservoir containing high H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> content. The device enabled a significant reduction in the number of coiled tubing runs, which resulted in a significant increase in operational efficiency. Another application enabled the conveyance of large gun strings using wireline, which reduced the number of descents required and saved valuable time for the operator. These well programs were successfully completed because of the extreme engineering qualification achieved. For example, surface integration testing involved a maximum allowable gun string of more than 120 ft in a well to model downhole exposure. If this trend continues, it is possible that this device will change the future of wireline perforating operations.

The new controllable electrical release device with exceptional strength enables the deployment of heavy tools and long guns on both coiled tubing and wireline. This will lead to efficiencies in well design as well as optimization and a higher standard in wireline perforating operations.



В процессе фрезерования пробок на ГНКТ в кабине управления можно услышать следующие команды: «спуск», «стоп», «подъем», «закачка». Что является основой принятия решений и какую информацию необходимо обработать для принятия того или иного решения? Во время работы с ГНКТ регистрируется множество параметров, включая расход насоса, давления, вес и скорость ГНКТ. Успех операции зависит от того, как производится интерпретация этих данных и как принимаются решения по следующим действиям. В лучшем случае в конце работы эти данные архивируются в одну из множества сетевых папок. А что, если поступающая информация будет анализироваться с целью разработки показателей производительности и понимания, почему результаты были именно такими? Что, если эта информация позволит осуществлять управление будущими работами? В данной статье предлагается алгоритм, разработанный для анализа выполненной работы, который позволяет обработать большой, широко доступный массив данных по фрезерованию пробок на ГНКТ.

### **Тридцать лет разработки программного обеспечения для моделирования работ с ГНКТ. Новые возможности**

*В. Айткен, С. Ливеску, С. Крейтц, Baker Hughes, a GE Company*

Работы над разработкой пакетов программного обеспечения для моделирования работ с гибкими насосно-компрессорными трубами (ГНКТ) ведутся в течение последних трех десятилетий для планирования и выполнении операций с ГНКТ по всему миру. Первые версии программных продуктов не учитывали изменения параметров во времени. Однако за последние десятилетия эти программные продукты получили возможность учитывать нестационарные процессы, изменяющиеся при выполнении работы. В будущем планируется использовать эти продукты для автоматизации работ с ГНКТ. В данной статье впервые предлагается описание этих программных продуктов.

Разработка компьютерной программы началась в начале 80-х для оценки процесса движения флюидов на забое и термобарических условий при выполнении работ с ГНКТ. Использование многофазных реологических и фрикционных корреляций, полученных по результатам лабораторных исследований, позволило проверить программный продукт на соответствие промышленным данным со всего мира. Позже для оценки возможности работы ГНКТ в горизонтальных скважинах и предупреждения возможных осложнений на забое появились программы, позволяющие проводить анализ нагрузок и напряжений, действующих на ГНКТ. Эти программы учитывают инклинометрию скважин, трение, размер гибкой трубы, профиль и материал стали. Сейчас наиболее распространены программные продукты, которые не учитывают изменение параметров в процессе выполнения работ. Однако на практике забойные условия изменяются в процессе выполнения таких работ, как промывка,

### **Unlocking the Potential of Your Coiled Tubing Post Job Data**

*Chris Murphy, BHP; Andrew Sams, CMU*

"Run in hole", "stop CT", "pickup", "drop pumps"... All common commands heard in the control cab during a coiled tubing plug drillout (CTDO). What drives the decision making process and what information has been processed to arrive at such a conclusion? During a coiled tubing (CT) operation, many parameters are being acquired including pump rate, pressures, weights and speeds, and the success of the operation relies on how the supervisory personnel interpret this data and advise on next steps. At the end of the job, if lucky, this crucial data is archived in the catacombs of the well file on some network server. What if instead, this information was analyzed to detail the operation, develop performance metrics to help understand why the results were what they were, and ultimately provide guidance for future operations? This paper discusses an algorithm developed to support analysis and a philosophy of job review that has been utilized to robustly process a rich, continuous and widely available CTDO data set.

### **30 Years of Continuous Coiled Tubing Modeling Software Development and Field Applications Creating New Capabilities**

*Aitken W.A. H., Livescu S., Craig S., Baker Hughes, a GE Company*

During the last three decades a coiled tubing (CT) modeling software package has been continuously developed to assist in the planning and executing of global CT operations. The first models were steady-state. In the past decade these models have been extended to consider transient effects of operations as they are executed. These models will also be used in the not-so-distant future to automate CT operations. In this paper, a review of all these models is presented for the first time.

The development of a computer program was initiated in the early 1980s to help understand the downhole flow and pressure conditions during CT operations. Utilizing multi-phase rheological and frictional correlations obtained from laboratory flow loop testing, the CT flow model was extensively validated against global field data. Later, CT force and stress analysis models, considering such effects as the specific well geometry, mechanical friction, CT size, shape and material strength, were developed to predict lateral reach and assist in preventing downhole CT failures. While

освоение, стимуляция, цементирование, бурение на депрессии на азотированной жидкости. За последние десятилетия программные продукты получили возможность учитывать переходные процессы на стадиях планирования и выполнения работы. Более того, появление технологии телеметрии на ГНКТ позволяет собирать забойные данные в режиме реального времени и использовать программные продукты, учитывающие изменение этих данных, для оптимизации операции, таким образом повышая эффективность и безопасность работы.

Впервые в данной статье предлагается описание программных продуктов, учитывающих и не учитывающих изменение забойных параметров. В статье описывается каждый продукт и его применение за последние 30 лет. Также в статье представлены результаты обоснования соответствия программного обеспечения промышленным и лабораторным данным. Для демонстрации переходных процессов при выполнении работ с ГНКТ и преимуществ использования программного обеспечения, учитывающего эти переходные процессы, на этапах предварительного планирования и выполнения работ в статье приведено описание конкретных промышленных примеров.

В статье описан мировой опыт разработки программного обеспечения для моделирования работ с ГНКТ за 30 лет. Математическую модель и информацию о подтверждении соответствия программных продуктов промышленным и лабораторным данным можно найти в списке литературы. В статье описаны конкретные промышленные примеры. На данный момент на глобальном уровне наблюдается нехватка опытных инженеров ГНКТ, поэтому разработка программного обеспечения для повышения эффективности операции является актуальной задачей.

### **Новый уровень аккумуляторов для энергоемких забойных инструментов**

*Д. Сегура, З. Эркол, Schlumberger*

Традиционные забойные аккумуляторы, предназначенные для малого напряжения/тока, не могут обеспечить требуемую мощность, когда речь идет об инструментах, предназначенных для электричества, подведенного с помощью кабеля. Высокая мощность, потребляемая этими инструментами, требует точного определения таких параметров, как сила тока, величина скачков напряжения, емкость аккумулятора при различных нагрузках и температурах.

Для повышения входного напряжения аккумуляторный источник питания для энергоемких забойных инструментов включает три блока батарей, соединяемых последовательно, с возможностью использования трех дополнительных блоков, соединяемых параллельно, для увеличения силы тока. Для определения характеристик литиевой батареи при разных температурах (75 °C, 100 °C, и 150 °C) были проведены испытания аккумулятора с 48-ю блоками батарей при силе тока выше 1 А. В статье также представлено описание электронной части

the most common and simplest approach within the industry is still to use steady-state models, in practice, the downhole conditions during CT operations, such as well cleaning, well unloading, well control, stimulation, cementing, underbalanced drilling with nitrified fluid, etc., are transient. Consequently, the steady-state models have been extended to account for downhole transient effects at the pre-planning and execution stages of CT operations. In addition, with the advent of the state-of-the-art CT telemetry systems, it is possible to acquire the downhole data in real time and use the transient CT software model to automate and optimize CT operations, increasing their safety and efficiency.

A review is presented for the first time about the steady-state and transient models included in the CT software model, with details about each model and how they performed during 30 years of operations. Results and discussions regarding the extensive validation of the software against laboratory and field data are also presented. Several field cases from around the world help illustrate the transient nature of CT operations and the benefits of using the transient simulation in the pre-planning and execution stages of these operations.

The paper presents the results from 30 years of global experience with the CT modeling software program. The mathematical models, validation against laboratory and field data, verification against other models available in literature, and case histories are described. The current trends within the industry are leading to a shortage of experienced CT field engineers, so the use of CT software models to increase the efficiency, compliance and safety of CT operations has never been as important as now.

### **Redefining Battery Operation for High-Power Downhole Tools**

*Segura J., Erkol Z., Schlumberger*

The use of conventional downhole batteries, which are intended for low voltage/current, faces hurdles when it comes to operating tools designed for surface power provided through a cable. The high power consumed by some of these tools requires careful characterization of parameters such as current, transients, and battery capacity at different loads and temperatures.

The battery power tool developed for high-power tools uses three battery packs, here used in series, to boost input voltage, with a provision to use three additional packs in parallel for additional current.

аккумулятора, используемой для повышения напряжения до 200 В, необходимого для прибора импульсного нейтронного каротажа.

В результате была разработана система, которая может обеспечить емкость 20 А\*ч и более 10 часов непрерывной эксплуатации приборов импульсного нейтронного каротажа. Также данная система обеспечивает время работы традиционных приборов каротажа более чем 100 часов. Система также позволяет использовать в полевых условиях программное обеспечение для оценки времени работы аккумулятора на конкретной скважино-операции. Преимущества данной системы подтверждены результатами полевых испытаний, проводимых начиная с 2014 года. Приведены примеры успешного применения аккумулятора на месторождениях Саудовской Аравии, Конго, Габона.

### **СЕКЦИЯ 3. Внутрискважинные работы с помощью электрического кабеля и канатной техники**

В данной секции представлены доклады по разработке технологий по спуску приборов и опыту выполнения ловильных работ. Докладчики представили презентации по реальным осложнениям, с которыми компании сталкиваются на скважине, и техническим решениям с применением электрического кабеля, троса и каната для успешного решения поставленных задач как на внутреннем, так и на международном рынках.

#### **Канатные работы с инновационным радиочастотным передатчиком: анализ практических примеров на месторождении Купарук-Ривер: Норт-Слоуп, Аляска**

*Ф. Хуни, К. Тейлор, Halliburton; Т. Вуз, ConocoPhillips*

Месторождение Купарук-Ривер в регионе Норт-Слоуп на Аляске является зрелым месторождением, на котором осуществляется множество внутрискважинных работ для поддержания уровня добычи. При таком большом количестве скважин, как на месторождении Купарук-Ривер, внутрискважинные работы должны быть эффективными, и традиционные технологии канатных работ и работ с электрическим кабелем сталкиваются с осложнениями. Основной проблемой является большое количество монтажей и демонтажей оборудования для выполнения одной операции. Однако еще одной проблемой является поддержание работоспособности оборудования в регионе низких температур. Еще одной особенностью этого месторождения является большое количество скважин с асфальто-смолистыми и парафиновыми отложениями (АСПО).

Технология канатных работ с передачей забойных данных была успешно опробована на месторождении Купарук-Ривер, эта технология была описана в предыдущих статьях (Wiese, 2015). Возможность мониторинга глубины в режиме реального времени с помощью локатора муфт и дополнительного прибора гамма-каротажа является новым словом в повышении эффективности канатных работ и работ

Battery characterization efforts at currents higher than 1 A were performed at different temperatures (75 °C, 100 °C, and 150 °C) to explore the behavior of lithium battery chemistry, with a total of 48 battery packs tested. The electronics design to boost battery voltage up to 200 V to support a pulsed neutron tool is also presented.

The result of this engineering effort is a system that can provide more than 20 Ah of power and enables more than 10 hours of continuous operation of pulsed neutron tools. It also allows more than 100 hours of operation of conventional production logging tools. A tool planner software is provided for the field users to estimate the battery operation time for a specific job. Those benefits are illustrated by the field deployment results of this solution since 2014, with examples of successful operations in the Kingdom of Saudi Arabia, the Congo, and Gabon.

### **SESSION 3. Electric Wireline, Slick and Braided Line Applications**

This session emphasizes technology developments in conveyance and tools along with case studies of operational methods and fishing operations. Speakers will present on real well issues and solutions utilizing electric, slick, and braided line to create successful outcomes in both domestic and international operations.

#### **Digital Slickline Using a Novel RF Transceiver: Case Studies in Kuparuk River: North Slope, Alaska**

*Heaney F.M., Taylor C., Halliburton; Wiese T., ConocoPhillips*

The Kuparuk River unit (KRU) on the North Slope of Alaska is a maturing asset providing a variety of well intervention opportunities necessary to maintain production. Because of the high well count, interventions need to be efficient, and the traditional slickline and electrical line model are being challenged. The primary concern is the multiple rig ups and rig downs to complete the scope of work, but there are also local concerns, such as maintaining a workable equipment schedule in a cold-weather region. Another unique feature of the KRU is that many of the wells have scale deposits.

Digital slickline (DSL) has been successfully used in the KRU and was highlighted in previous papers (Wiese 2015). The ability to have real-time depth correlation with a casing collar locator (CCL) and optional gamma ray (GR) during slickline runs and completing the traditional electric

с использованием электрического кабеля (установка пакера, перфорация и др.). Ранее мониторинг забойных данных в реальном времени сталкивался с проблемой образования избыточного объема отложений в некоторых участках скважины. Для решения этой проблемы был разработан новый протокол передачи данных, который использует радиочастотную антенну для передачи сигнала в одном направлении с помощью троса. В рамках этой технологии корпус прибора не нужно соединять с колонной труб для передачи сигнала.

В 2017 году было выполнено более 400 СПО с передачей данных по такому типу. Выполненные работы включают в себя извлечение и замену газлифтных клапанов, ловильных пакеров, торпед, перфораторов, установку пакеров и ремонтных гильз. Следует отметить, что среди всех канатных работ с передачей забойных данных примерно 60% это канатные работы с яссами, а 40% – работы по замене оборудования с применением электрического кабеля. Такая тенденция позволяет судить о том, что хорошо зарекомендовавшая себя технология может быть использована и дальше для поддержания высокой эффективности.

#### **Пример выполнения сложных ловильных работ по извлечению тяжелого аварийного инструмента в условиях высоких давлений с использованием кабеля, каната и ГНКТ**

*Э. Харрис, Р. Збитовски, А. Дангхайтер, Saudi Aramco; Л. Веббер, Н. Семху, Halliburton*

В данной статье описан пример успешного выполнения сложных ловильных работ по извлечению тяжелого аварийного инструмента в условиях высоких давлений в высокосернистой газовой скважине в Саудовской Аравии. Мультидисциплинарный проект включал в себя внутрискважинные работы с использованием троса, различных размеров канатов и ГНКТ.

В статье описаны подробности планирования, моделирования и выполнения работы. Также в статье обсуждаются технологии контроля за скважиной и соответствие высоким операционным стандартам нефтегазовой отрасли. В статье уделено внимание рискам и стратегии по их снижению. Комплексный проект включал в себя ловильные работы по извлечению работающего перфоратора в комплекте с пробкой, которые были оставлены в хвостовике после осечки взрыва при установке пробки. Работы были осложнены наличием рассеченного электрического кабеля над аварийным инструментом.

Для выполнения работ были задействованы самые последние разработки в области ловильных работ по извлечению тяжелых аварийных инструментов. Также немаловажным аспектом является интегрированный подход к выполнению сложных ловильных работ с соблюдением всех норм безопасности при эксплуатации многоуровневой устьевого площадки и нескольких подъемных кранов, с планированием грузоподъемных работ и операций по извлечению кабеля и работающего перфоратора, ►

line services (i.e., packer set, perforating, etc.) is a game changer that dramatically helps improve intervention efficiency. A previous challenge was maintaining real-time communications in areas where there is excess scale buildup. To circumvent this issue, a new protocol was developed using a radio frequency (RF) antenna to provide half duplex communications with a coated slickline. This methodology does not require the tool housing to contact the tubular to complete the signal transmission.

In 2017, more than 400 digital subscriber line (DSL) runs covering a wide variety of tasks were successfully completed, including removing and replacing gas-lift valves, fishing packers, string shots, perforating, setting packers, and patches. An interesting result of the KRU digital slickline interventions was that approximately 60% of the runs were slickline centric involving jars and 40% were considered e-line replacement services. This trend suggests that a successful product should be able to complete all typical slickline runs to maintain the efficiency advantage.

#### **Case Study of a Complex, Heavy-Duty, High-Pressure Fishing Job Using Wireline, Slick Line and Coiled Tubing Intervention**

*Harris Anthony, Zbitowsky Ron, Dugbaiter Abdullah, Saudi Aramco; Webber Lionel, Sethi Neeraj, Halliburton*

This paper is a case study of a successful, complex, high-pressure, and heavy-duty fishing job on a live sour gas well in Saudi Arabia. The multidisciplinary effort involved braided line, various sizes of slick line and coiled tubing (CT) intervention.

The paper examines details of the job planning and design as well as the job execution. The well control philosophy and compliance to some of the highest operational standards in the industry will be discussed along with the associated risk and mitigation strategy. This multifaceted job involved fishing a live perforating gun and plug assembly, which was stuck in the liner following a misfire while attempting to set the plug. The fishing job was further complicated due to the presence of a parted section of electric line on top of the original fish.

Recent developments in heavy-duty fishing operations were incorporated into the intervention process. Equally important is the integrated approach used for this complex fishing job with special safety procedures put in place for the use of multilevel scaffolding, multiple cranes, lifting ►

с составлением планов ликвидации аварий и контролем противовыбросового оборудования.

В статье также описываются сделанные по результатам работ выводы. Успешное выполнение сложных ловильных работ по извлечению тяжелого аварийного инструмента позволило расширить границы внутрискважинных работ без использования буровой установки, повысило эффективность работ и открыло новые возможности для применения данной технологии, которая ранее применялась только с привлечением установки КРС.

**Выпрямление поврежденных элементов компоновки заканчивания с помощью электрического кабеля позволяет восстановить доступ в скважину и проводить дальнейшие внутрискважинные работы по восстановлению добычи в заглушенных скважинах**

*С. Мурчи, А. Гроннерод, Р. Хансен, О. Магнуссен, ALTUS Intervention; М. Тунгесвик, Л. Харсакер, Statoil*

Некоторые скважины заглушены из-за повреждения элементов компоновки заканчивания, которые препятствуют добыче и мешают проведению промывки скважины. Зачастую процесс извлечения компоновки заканчивания несет в себе риски с точки зрения сложности работы, нанесения ущерба окружающей среде и ухудшения фильтрационных характеристик призабойной зоны. Также этот процесс требует больших затрат ресурсов и времени. Выпрямление элементов компоновки заканчивания с помощью легкого, но эффективного технического решения позволяет возобновить добычу из таких скважин.

В данной статье описывается разработка расширителя, который спускается в скважину вместе с электрогидравлическим механическим поршневым инструментом на электрическом кабеле. Простая, но высокоэффективная конструкция расширителя позволяет увеличить осевое усилие, оказываемое поршневым инструментом, для такого радиального расширения, которое позволяет выпрямить дефект в компоновке заканчивания. Очень важно производить точное измерение, контроль степени расширения и оказываемого радиального усилия для того, чтобы предотвратить возможное повреждение выпрямляемого элемента и других элементов компоновки заканчивания.

Такая забойная компоновка с функцией контроля и вывода на экран ключевых параметров прибора позволила выполнить высокоточное расширение с большим радиальным усилием в двух скважинах на заданной глубине с повторным использованием по всему участку с поврежденными элементами. Также для подтверждения выпрямления поврежденных элементов сразу после работы было проведено шаблонирование. В обоих случаях работа позволила исключить необходимость проведения дорогостоящей и рискованной операции по извлечению компоновки заканчивания. Работа была проведена без осложнений за несколько часов, что позволило с помощью последующих внутрискважинных работ снова вывести скважину на режим с высокими показателями добычи.

plans, wire and live gun retrieval procedures, contingency plans and multipurpose pressure control equipment (PCE).

Lessons learned will also be presented in the paper. This successful heavy-duty fishing operation has helped push the boundaries of rigless well intervention, improved operational efficiency and opened up additional opportunities for this technology that previously required the deployment of a workover rig or snubbing unit.

**Electric Line Deployed In-Well Rectification of Damaged Completion Components Re-Enables Well Access and Subsequent Intervention, Reinstating Production of Shut-In Wells**

*Murchie S.W., Grønnerød A., Hansen R., Magnussen O.E., ALTUS Intervention; Tungesvik M., Hørsaker L., Statoil*

There are wells shut in because of damaged completion components which hinder their production control or integrity, or prevent a remedial intervention from being carried out. Often, the option to pull the completion has inherent risks from an operational, environmental and/or reservoir damage perspective and require extensive resources and time to execute. Rectifying completion component damage through a light but effective in-well intervention solution offers highly valuable options to reinstate production from such wells.

This paper will discuss the rapid engineering development of an expander tool run in conjunction with an electric line deployed electrohydraulic mechanical stoker tool. Through a simple but highly-effective design, an expander tool was engineered to harness and magnify the axial force delivered by the stoker to generate a radial expansion with a force magnitude sufficient to prize out a defect in a completion component. Critical to the design was a precise measurement and control of the expansion extent and the radial force exerted, so the component in question and the other components of the completion were not damaged.

This toolstring combination, coupled with real-time control and surface readout of key tool parameters, enabled a precise and measured high-magnitude expansion capability to be deployed in two different wells with ease, at pinpoint depth, and applied repeatedly across the length of the defect it was addressing. Furthermore, immediate validation of the repair was available through a drift verification pass. In both cases the in-well repair operation eliminated the need for a high cost, high risk

Разработка данного прибора является примером быстрого реагирования инженерного отдела на запрос заказчика по решению проблемы с поврежденным элементом компоновки заканчивания. В результате была проведена первая работа по спуску расширителя на электрическом кабеле, которая была по достоинству оценена заказчиком.

### **Операции с кабелем – комплексная система управления рисками**

*Х. Кастилло, Baker Hughes; А. Хайгуд, NOV*

Большинство аварий и инцидентов при операциях с кабелем происходят в результате неправильного подбора либо некорректной эксплуатации наземного оборудования. Примерами таких инцидентов могут являться: превышение максимально допустимого усилия натяжения на элементах наземного оборудования, использование лебедок, которые не могут обеспечить натяжение, требуемое для извлечения тяжелых компоновок в глубоких и искривленных скважинах.

Различные инструменты и программное обеспечение для моделирования, используемые для планирования проводимых операций, сосредоточены на рисках и условиях, в которых будут работать скважинные инструменты и кабели. Они не включают точную оценку применимости выбранного наземного оборудования и принципов работы с этим оборудованием.

В данной статье представлен результат внедрения комплекса оценки наземного оборудования в популярный продукт для моделирования нагрузок при работе с кабелем. В этом комплексе представлен комплект наземного оборудования, который включает в себя: кабель, лебедку, барабан для кабеля, цепи и канаты, ролики блока, датчики веса, якорный шпиль лебедки и оснастку для крепления оборудования. В статье также представлены достоинства количественного представления механической мощности и крутящего момента лебедки в зависимости от натяжения и скорости, рассчитанных по всей глубине скважины в стандартных условиях и условиях прихвата.

Использование данных инструментов с программным обеспечением для расчета нагрузок, включая оценку применимости наземного оборудования и технических решений, приобретает еще большее значение в условиях длинных и/или искривленных скважинах. Применение стандартного наземного оборудования для таких типов скважин может повлечь за собой эксплуатационные ограничения, которые не определяются на стадии планирования, что может привести к авариям и большим финансовым потерям.

### **Скважинный трактор для внутрискважинных работ в скважинах с открытым стволом**

*Г. Гием, Т. Шейпетов, Й. Кабл, Schlumberger*

В данной статье рассматриваются особенности конструкции и результаты опытно-промышленных

completion retrieval and the repair operation was executed flawlessly in hours, enabling the subsequent intervention operations to be carried out and the wells be brought back on line with positive production results.

The tool development was an exemplary case of rapid-response engineering, whose ingenuity stemmed from a direct customer request to solve a challenging completion defect. It resulted in a world first for an electric line deployed in-well expansion solution, the resulting value of which was well acknowledged by the customer.

### **Wireline Operations – All-Inclusive Risk Management**

*Castillo H.C., Baker Hughes; Haigood A.G., NOV*

Many of the high-impact operational and safety incidents in wireline operations are the direct result of incorrect selection or inappropriate operation of surface equipment. Examples of such incidents are pulling tensions on the rig-up equipment components above their safe working loads and using winch units incapable of pulling the tensions required to retrieve heavy tool strings in deep or tortuous wells.

Current processes and simulation software used to plan wireline operations are focused on the risks and conditions in which the downhole tools and wireline cables selected will operate; they do not include specific assessments of the adequacy of the surface equipment selected and their associated operating practices.

In this paper, we show the outcome of implementing a set of surface equipment forces modeling software suite. The surface equipment covered in this initial implementation include the wireline cable, hoist (winch) unit, wireline drum, chains/slings, sheave wheels, load cells, powered capstans, and rig anchoring points. We also demonstrate the merits of the quantification of the selected hoist unit horse power and torque versus the tension and speed profiles simulated at all depths for the free and stuck tool conditions.

The use of processes and forces modeling software, including suitability assessments of the surface equipment and operational choices, is particularly relevant to long and/or tortuous wells. Selection of marginal surface equipment in these types of wells can impose severe operational limitations not identified during the job planning phase and create hazardous conditions that can result in safety incidents and large financial losses.

испытаний нового скважинного трактора, который был разработан специально для внутрискважинных работ в добывающих горизонтальных скважинах с открытым стволом.

Большинство горизонтальных скважин на Ближнем Востоке закончены открытым стволом, в который не производится спуск колонн. Вертикальный участок скважины обсаживается, и в обсадную колонну спускается НКТ. Проведение внутрискважинных работ по геофизическим исследованиям или промывке вызывает осложнения из-за необходимости спускать прибор через НКТ и затем работать в открытом стволе. Инструмент, как правило, спускается на ГНКТ или с использованием трактора на кабеле. ГНКТ имеет малую глубину доступа в скважину из-за высокого трения, а также из-за перекрытия движения жидкости через НКТ, что искажает данные исследований. Традиционные колесные тракторы в некоторых типах пород могут разрушить открытый ствол в месте контакта колеса с пластом. Это приводит к пробуксовке трактора и малой скорости движения.

Для борьбы с такими осложнениями в новый трактор были внедрены технические усовершенствования. Возвратно-поступательный механизм приводит в движение два соединенных между собой рычага с разными диаметрами для полного соответствия неровностям ствола скважины, обеспечивая при этом большую площадь контакта с пластом. Нагрузка, оказываемая трактором, по гидравлическому каналу связи передает радиальное усилие, обеспечивая необходимое сцепление со стволом. Результаты опытно-промышленных испытаний показали, что при проведении работы почти не было пробуксовки в тех же условиях, где ранее используемые тракторы столкнулись с проблемами. Трактор оснащен двойными плавающими втулками, которые позволяют закрыть рычаги в верхнем направлении для более легкого прохождения при движении вниз. При подъеме трактора из скважины рычаги закрываются в нижнем направлении для предотвращения блокировки трактора. Сочетание двойных плавающих втулок и механизма с постоянной силой открытия позволяет автоматически проходить через сужения и расширения в стволе скважины. В прошлых поколениях скважинных тракторов для прохождения таких участков требовалось ручное управление рычагами. Данные новшества были успешно опробованы на нескольких скважинах. В статье представлено описание работы данного трактора на скважине, в которой описанные выше функции позволили достичь забоя и беспрепятственно произвести подъем прибора из скважины. Также в статье представлено сравнение трех работ по геофизическим исследованиям на одной скважине: в первой работе использовалась ГНКТ, во второй – трактор предыдущего поколения, в третьей – новый трактор.

Объединение таких функций, как возвратно-поступательный приводной механизм, соединенные между собой рычаги, регулировка прижимающего давления, постоянная сила расширения, двойные плавающие втулки и автоматическая навигация

## Wireline Tractor for Through-Tubing Intervention in Wells with Barefoot Openhole Completions

*Giem Greg, Sheiretov Todor, Couble Yoann, Schlumberger*

This paper presents the design features and the results from field trials of a new wireline tractor developed specifically for through-tubing intervention into producing horizontal wells with barefoot completions.

Many Middle East horizontal wells have barefoot completions in which the producing zone is left without tubulars. The vertical section is cased and production tubing put in place. Intervention for production logging or remedial work is challenging due to the need to pass through tubing and then operate in open hole. Intervention is conducted on coiled tubing or wireline tractors. Coiled tubing has limited reach in open hole due to higher friction, and it chokes flow through the tubing, resulting in inaccurate production logs. Conventional wheeled tractors apply stress that can destroy some formations at the wheel contact point. This leads to heavy slippage and extremely slow progress.

Several technical innovations were implemented in the new tractor to overcome these challenges. A reciprocating mechanism drives a pair of linked grips with independent opening diameters to conform to variations in borehole geometry while providing a large contact area with the formation. The radial force is hydraulically amplified from the tractor load, enabling it to grip with as much force as required. Results from field trials show little to no slippage in conditions where previous tractors have struggled. The tractor features dual floating hubs that let it close in the uphole direction when tractoring to improve restriction navigation or close in the downhole direction while pulling out of hole to prevent self-locking. The combination of the dual floating hubs and a constant-force opening mechanism enables automatic navigation of restrictions and expansions where previous technologies would have required a manual open/close sequence. These innovations were successfully tested in several tractor operations. One case study is presented in which these features were instrumental in successfully getting to the bottom of the well and back to surface. In one case, the same well was logged using coiled tubing, a prior-generation tractor, and the new tractor. A comparison of these intervention methods is shown.

The integration of a reciprocating tractor drive mechanism with novel technical

позволили сделать работу с использованием скважинного трактора в открытом стволе надежной и эффективной.

#### **СЕКЦИЯ 4. Внутрискважинные работы с применением ГНКТ**

За последние 10 лет объем работ с применением ГНКТ в нефтяных и газовых скважинах вырос. Технологии мониторинга данных в режиме реального времени позволяют повысить эффективность работ, увеличить дебиты скважин и снизить затраты на операцию. В глубоких скважинах, как обсаженных, так и необсаженных, применяются различные скважинные тракторы. Для разработки зрелых месторождений, когда необходимо выполнить повторный вход в стволы ранее пробуренных скважин, провести бурение боковых стволов и строительство многоствольных скважин, лучшей технологией является бурение на ГНКТ. Эта технология становится востребованной и за пределами нефтегазовой отрасли. В рамках данной секции будут представлены реальные случаи применения технологии скважинных тракторов и инновационные технические решения в области перфорации и фрезерования, в том числе бурение на ГНКТ для разработки месторождений полезных ископаемых.

##### **Комплексный анализ технологии скважинного трактора в скважинах с большим отходом от вертикали**

*В. Бадегайш, М. Ной-Мехиди, Абдулрахман Аль-Мульхем, Saudi Aramco*

Горизонтальные и многоствольные скважины служат для увеличения площади контакта скважины с пластом и увеличения показателей добычи. Для оценки продуктивности таких скважин, как правило, используются такие технологии доставки приборов, как ГНКТ и кабель. При использовании ГНКТ может произойти большое количество осложнений, таких как прихват. При использовании кабеля есть риск того, что прибор не достигнет заданной глубины. Для решения этих проблем разработаны скважинные тракторы, которые могут применяться вместе с ГНКТ и кабелем. Возможность обеспечить дополнительное тяговое усилие для подъема ГНКТ и кабеля по всему стволу тракторы позволяет увеличить глубину доставки приборов в разных типах горизонтальных скважин с открытым стволом. Целью данной статьи является оценка большинства технологий скважинных тракторов, используемых для геофизических исследований и работ по интенсификации притока. Кроме того, в статье представлен новый трактор малого диаметра с повышенным сцеплением и тяговым усилием, который может проходить через сужения в зоне установки ЭЦН. Данная статья поможет определить области развития для разработки скважинных тракторов.

##### **Бурение на ГНКТ: опыт в Новой Зеландии**

*С. Каримнеджад, Х. Лундин, TAG Oil; Л. Хорват, С. Свум, Halliburton*

solutions for linked grips, pad pressure regulation, constant force expansion, dual floating hubs mechanism, and automatic navigation has resulted in more reliable and efficient tractor operation in wells with barefoot completions.

#### **SESSION 4. Coiled Tubing Applications**

The use of coiled tubing in oil and gas well interventions has increased over the last decade. Advances in real-time downhole measurements allow for improved wellbore treatments resulting in higher production rates and cost-effective solutions. Extended-reach applications are better addressed by the use of a variety of downhole tractors either in cased-hole or open-hole scenarios. Coiled tubing drilling is still the best option in mature fields development when it comes to well re-entry, sidetracks, and multilateral wells construction. Its application keeps growing outside the oil and gas industry. Case histories will be presented on coiled tubing tractor technology and creative solutions on perforating and milling operations, including coiled tubing drilling for mineral exploration.

##### **Comprehensive Review of Well Tractor Technology in Highly Extended Reach Wells**

*Badeghaish Wael, Noui-Mebidi Mohamed N., Al-Mulhem Abdulrahman A., Saudi Aramco*

Oil and gas wells are drilled with horizontal and multilateral architecture to improve reservoir contact and maximize production. To evaluate the performance of these wells, coiled tubing (CT) and Wireline (WL) conveyance are routinely used. CT inherently have many technical issues such as lock-up. The WL cannot reach the target depth. To address these challenges, the oil industry introduced well tractors that are combined with CT and WL to offer a significant improvement in well accessibility for all types of open-hole horizontal wells by providing extra pulling force to pull CT and WL all the way to target depth. The objective of this article is to evaluate most of the well tractor technology used in logging and stimulation operations. Moreover, the development of a new slim tractor with improved gripping and pulling force with ability to pass through restrictions in electrical submersible pump (ESP) is presented. This study can help identify areas of improvement for tractor capabilities in future operations.

##### **Coiled Tubing Drilling: Case Study, New Zealand**



В условиях нестабильности нефтегазового рынка добывающие компании вынуждены снизить затраты на бурение и для обеспечения рентабельности повысить эффективность. Таким образом, в мире, особенно в Австралии, сейчас наблюдается рост интереса к технологиям повторного входа в стволы ранее пробуренных скважин, бурения боковых стволов, а также бурения многоствольных скважин из ранее пробуренных стволов. Технология бурения на ГНКТ тестируется в Новой Зеландии в рамках опытно-промышленных работ, однако успешно выполненных работ пока немного. После оценки экономического эффекта и поиска подходящей скважины-кандидата добывающая компания в Канаде решила опробовать технологию бурения на ГНКТ, которое впоследствии было успешно выполнено.

В данной статье описан двухэтапный проект: внутрискважинные работы для изоляции проперфорированных участков и бурение бокового ствола из материнского ствола для вовлечения в разработку нового пласта. Целями проекта были: перевод скважины из добывающей в нагнетательную, повышение нефтеотдачи месторождения, поддержание уровня добычи нефти вводом в разработку нового объекта. В данной статье представлено описание используемой технологии и осложнений, преодоление которых позволило достичь цели, поставленной заказчиком.

На обоих этапах проекта была использована ГНКТ диаметром 73 мм для максимально эффективного выполнения работ по изоляции перфорированного участка и бурения бокового ствола согласно составленного плана. Для заканчивания скважины после бурения бокового ствола в скважину на ГНКТ была спущена перфорированная труба диаметром 73 мм длиной приблизительно 100 м для обеспечения устойчивости стенок открытого ствола скважины в зоне нагнетания.

### **Бурение на ГНКТ для разведки месторождений полезных ископаемых**

*С. Сой, Совместный центр изучения технологий разведки глубоких месторождений; К. Лагат, Б. Иванс, М. Мостофи, С. Фокс, Куртинский университет*

В ноябре 2016 года Совместный центр изучения технологий разведки глубоких месторождений разработал установку для бурения на ГНКТ RoXplorer® для новых месторождений полезных ископаемых. Данная установка обеспечивает низкокзатратное, быстрое и безопасное бурение, которое отвечает требованиям экологической безопасности. Запуск такой установки является новым этапом в разработке технологии бурения на ГНКТ для разведки месторождений полезных ископаемых. В первой половине 2017 года были успешно выполнены несколько пробных работ.

В данной статье представлена технология бурения на ГНКТ и ее применение для разведки месторождений полезных ископаемых. Были определены три основных проблемы при бурении на ГНКТ для разведки месторождений полезных ископаемых:

*Kariminejad Sobeil, Lundi, Henrik, TAG Oil; Horvath Lucas, Sweet Steven, Halliburton*

While the oil and gas market continues to fluctuate, operators are forced to reduce drilling costs and increase efficiency to remain profitable; therefore, the focus on well reentry, sidetracks, and multilaterals from existing wellbores is growing in popularity, particularly within Australasia. Coiled tubing drilling (CTD) technology has been explored in New Zealand; however, successfully executed operations have so far been limited. After evaluating economic benefits and finding a suitable candidate trial well, a Canadian-based operator attempted a CTD operation in New Zealand that was technically successful.

This case history outlines the two-phase project and discusses well intervention to isolate existing perforations and the sidetrack from the primary motherbore to drill to the base of the new reservoir. The objectives were to convert the suspended well from an oil producer to a water injector, enhance oil recovery within the field, and prolong oil production by reviving an underused asset. This paper discusses the engineering and technology used as well as regulatory obstacles and challenges encountered that were overcome to reach the operator's objective.

A 2 7/8-in. coiled tubing (CT) string was used for both phases of the operation, spanning intervention and drilling to perform all scheduled operations as efficiently as possible. The resulting completion, post-sidetrack, was to incorporate the CT workstring with approximately 100 m of a perforated 2 7/8-in. jointed pipe to maintain openhole stability across the injection zone.

### **The Coiled Tubing Drilling Rig for Mineral Exploration**

*Soe S., Deep Exploration Technologies Cooperative Research Centre; Lagat C., Evans B., Mostofi M., Fox S., Curtin University*

In November 2016 the Deep Exploration Technologies Cooperative Research Centre (DET CRC) launched the RoXplorer®, a coiled tubing (CT) drilling rig for greenfields mineral exploration, delivering a platform for low-cost, rapid, safe and environmentally-friendly drilling. The launch represented an important technical milestone in the development of CT drilling for mineral exploration and has been complemented by a series of very successful field trials in the first half of 2017

The paper presents CT technology and its

износ ГНКТ, бурение твердых пород с малой нагрузкой на долото, достоверность образцов выбуренной породы. В статье представлены результаты пробного бурения на ГНКТ для разведки месторождений полезных ископаемых в цементированных породах в Южной Австралии и в нецементированных породах месторождения структуры Муррей в Виктории. В статье также описаны методы решения вышеуказанных проблем. Результаты подтверждают большую перспективу применения этой низкочастотной многообещающей технологии для разведки месторождений полезных ископаемых. Были получены выдающиеся результаты анализа образцов выбуренной породы: образцы породы при бурении на ГНКТ на месторождении Порт Августа совпали с образцами породы при алмазном бурении в соседней скважине.

**Интегрированная оптоволоконная система с регистрацией данных в реальном времени для проведения точной перфорации с использованием ГНКТ: опыт применения на месторождении Истерн Футхиллс в Колумбии**

*В. Вера, К. Торрес, Э. Дельгадо, К. Пачеко, Д. Сампайо, Halliburton; Д. Хигуэра, М. Торрес, Equion Energia Limited*

Перфорация на депрессии с традиционным способом доставки прибора на кабеле влечет за собой риски, связанные с искривлением ствола скважины, максимальным тяговым усилием кабеля, подъемом перфоратора, возможностью обеспечить необходимую депрессию для эффективной промывки (Graeme et al, 2008). Для минимизации этих рисков добывающая компания в Колумбии решила провести перфорацию в новой добывающей скважине с доставкой прибора на ГНКТ с интегрированной оптоволоконной системой (ИОС) с регистрацией данных в реальном времени.

Для такого ствола скважины способ доставки прибора на ГНКТ является наиболее оптимальным. Для обеспечения необходимой величины депрессии и точной привязки к глубине заданного интервала перфорации оптоволоконная система использует функцию точного определения глубины в дополнение к функции регистрации данных по температуре и давлению в ГНКТ и в малом затрубном пространстве в реальном времени.

При использовании ИОС для проведения перфорации согласно техническому заданию заказчика необходимы только 2 СПО. Нет необходимости проводить дополнительную СПО для стравливания давления и перехода на режим депрессии.

Использование системы ИОС позволяет исключить ошибки при определении глубины, связанные с удлинением ГНКТ.

На основании расчета предельных величин, при котором определяются максимальное напряжение и изгиб с учетом коэффициента запаса, было выявлено, что для доставки перфоратора гибкая труба не была нужна.

Для активации перфораторов вместе с системой ИОС может использоваться гидравлическая стреляющая головка, работа которой не наносит вред оптоволокну

application for mineral exploration drilling. The three key challenges for CT drilling in mineral exploration are coil durability, drilling hard rocks with low weight-on-bit and sample fidelity. Results for mineral exploration CT-drilling field-trials in the consolidated cover rocks of South Australia and the unconsolidated cover rocks of the Murray Basin in Victoria are presented and outline how each of these challenges was overcome. The outcomes confirm the promise of this cheaper regional prospecting approach to mineral exploration drilling. The results of assay samples of the CT drilling cuttings are remarkable; the assay samples from the CT drilling at Port Augusta trial matched those of diamond drill core from an adjacent hole.

**Real-Time Fiber Optic Integrated System Provides Precision and Confidence in a Coiled-Tubing-Conveyed Perforating Operation: A Case Study from the Eastern Foothills in Colombia**

*Vera Vanessa, Torres Carlos, A. Delgado, Pacheco Carlos, Sampayo David, Halliburton; Higuera Josue, Torres Monica, Equion Energia Limited*

Underbalanced perforating with conventional cable operations involves several risks associated with well tortuosity, cable tension capacity, gun lifting, and the capability of achieving the optimum underbalance for effective tunnel cleanup (Graeme et al. 2008). Because of these risks, an operator in Colombia elected to perform a perforating operation using a coiled tubing (CT) real-time fiber optic (RTFO) integrated system in a newly drilled development well.

CT-conveyed perforating is ideal for this type of wellbore. To achieve the proper underbalance and depth correlation to perforate the target interval, an RTFO CT system provides the most accurate and reliable depth correlation process, in addition to real-time pressure and temperature monitoring inside the CT and the outer annulus.

Using the RTFO CT system, only two runs were necessary to complete the perforating program, in accordance with the operator design, rather than performing an additional run needed for pickling and to generate underbalanced conditions.

The use of the RTFO CT system can help to prevent correlation errors resulting from CT elongation.

A CT structure was not necessary to deploy the guns based on the finite model analysis that calculates maximum stress and flange

или забойному датчику после детонации.

Также ИОС позволяет заказчику оценить характеристики пласта. Согласно результатам оценки, один из интервалов был низкопроницаемым, поэтому в этом интервале не было необходимости проводить освоение азотом.

Забойный датчик давления позволил определить время детонации перфораторов.

Было зафиксировано сокращение временных затрат на монтаж оборудования, что позволило оптимизировать длительность работы. При этом сокращение времени не повлияло на эффективность работы.

Основным фактором, повлиявшим на сокращение времени, было использование локатора муфт, используемого для точной привязки по глубине. Этот прибор позволил обеспечить точность размещения перфоратора и глубину детонации, а также предотвратил возможные осечки при взрыве. Перфораторы были успешно активированы без непроизводительного времени и производственных инцидентов.

Таким образом, была успешно проведена перфорация с перепадом давления 270 атм в новом пласте с использованием гидравлической детонации и мониторингом забойных данных в режиме реального времени до и после взрыва, что позволило заказчику своевременно и оперативно принимать соответствующие решения.

Новый подход к проведению перфорации с использованием системы ИОС вместе с гидравлической стреляющей головкой может быть использован на новых продуктивных пластах с осложнениями (скважины с дебитом более 500 000 м<sup>3</sup>/день, слабосцементированные пласты с выносом песка).

#### **Использование системы телеметрии на ГНКТ для повышения эффективности комплексной операции по фрезерованию в условиях закрытой скважины**

*П. Корриа, Д. Парна, С. Крейг, С. Ливску, А. Егинбаев, З. Надиров, Baker Hughes, a GE Company*

После ввода в эксплуатацию горизонтальная скважина в Азии не фонтанировала из-за низкого дебита и низкого устьевого давления, которое было ниже величины, необходимой для сбора скважинной продукции в трубопровод. Для повышения газового фактора были выбраны два интервала. Для проведения работ по перфорации и интенсификации притока была выбрана технология с применением ГНКТ, поскольку глубины этих двух интервалов находились под углом более 80 градусов. Более того, для того чтобы жидкость для воздействия на пласт попала именно в требуемые интервалы, требовалось провести механическую изоляцию. Для проведения работы было необходимо точное определение глубины забойной компоновки. Работа включала в себя три СПО: установка двух композитных пробок, проведение перфорации со спуском приборов на ГНКТ, фрезерование двух композитных пробок без выноса разбуренного материала на поверхность. Все СПО были проведены

bending, including a safety factor.

A hydraulic firing head can be used with an RTFO CT system to activate the guns without affecting the integrity of the fiber optics or the downhole sensor tool after detonation.

The RTFO CT system enabled the operator to evaluate the reservoir potential. The evaluation results indicated that one of the zones is a low producer, which avoided the pumping of unnecessary nitrogen to induce the specific zone.

The use of a downhole pressure sensor enabled the identification of the time at which the guns were detonated.

Improvement to the rigup was evidenced and enabled time optimization without affecting the operation.

The casing collar locator (CCL), used for depth correlation, was a crucial factor in reducing operational costs because it helped to optimize placement accuracy and gun detonation and to prevent misfiring (Newman 2003). The guns were successfully activated without nonproductive time (NPT) or health, safety, or environmental (HSE) incidents during operations.

A successful perforating operation was completed with 4,000 psi underbalance in a new formation using hydraulic detonation with continuous real-time downhole condition monitoring before and after detonation, enabling the operating company to make decisions in real time.

This new approach of using an RTFO CT system combined with the hydraulic firing head can be used to perforate new formations in these crucial scenarios (wells with production greater than 20 MMscf/D and zones with continued sand production).

#### **Operational Improvements Using a Coiled Tubing Telemetry System for a Complex Milling Operation in Shut-In Conditions**

*Correa P., Parra D., Craig S., Livescu S., Yeginbayev A., Nadirov Z., Baker Hughes, a GE Company*

A new horizontal well in Asia was not capable of unassisted flow due to low gas production rates and a wellhead pressure below that required to enter the production gathering system. Two zones were identified at the heel that could increase the gas/oil ratio (GOR). Because these two zones had deviations greater than 80 degrees, coiled tubing (CT) was selected for the perforation and stimulation intervention. In addition, mechanical isolation was required to ensure the stimulation fluids entered only the new zones. Accurate depth control was required for three runs: setting two composite bridge

с ГНКТ диаметром 73 мм с системой телеметрии. Впервые для повышения эффективности фрезерования был использован вспомогательный узел компоновки, который регистрировал данные по натяжению, сжатию и крутящему моменту.

Система телеметрии включает в себя изготовленную по требованиям заказчика компоновку низа колонны, которая в реальном времени передает на поверхность данные по давлению и температуре внутри и снаружи КНК, а также данные локатора муфт через наружный кабель, запасованный в ГНКТ. Мониторинг данных по нагрузке и крутящему моменту на КНК позволил повысить эффективность забойного двигателя и фрезы, а также оптимизировать износ рабочих деталей благодаря возможности регулировать нагрузку на фрезу согласно рекомендуемым величинам. Например, используя данные по оптимальному диапазону работы ВЗД, инженер смог настроить рабочие параметры, что позволило повысить эффективность фрезерования.

Система телеметрии позволила выполнить следующие действия: установку композитной пробки на глубине 5363 м по стволу, установку второй пробки на глубине 5281 м, перфорацию в интервале 5297–5306 м и 5152–5164 м. Кроме того, система телеметрии с вспомогательным узлом компоновки, который регистрировал данные по натяжению, сжатию и крутящему моменту, позволила провести фрезерование двух пробок в условиях закрытой скважины без заклинивания. Таким образом, фрезерование было проведено непрерывно, что позволило сократить длительность работы и необходимый объем жидкости по сравнению с такими же работами по фрезерованию с использованием только системы телеметрии. Сравнение этой работы по фрезерованию композитных пробок с предыдущей работой в другой скважине с похожими условиями (глубина, инклинометрия) показало, что использование системы телеметрии позволило сократить длительность фрезерования на 22%. Хотя результаты работы превзошли ожидания заказчика, рабочие параметры, регистрируемые системой телеметрии и вспомогательной компоновкой, регистрирующей данные по натяжению, сжатию и крутящему моменту, были непостоянны, что определяет области для дальнейшей работы над модернизацией работ по фрезерованию. Например, такие параметры, как постоянное дифференциальное давление и нагрузка на фрезу, не были использованы при каждом фрезеровании.

Новизной системы телеметрии и вспомогательной компоновки для регистрации данных по натяжению, сжатию и крутящему моменту является возможность регистрации данных КНК в режиме реального времени для корректной установки двух композитных пробок и точной обработки интервалов на требуемой глубине. Более того, данный подход позволяет эффективно расфрезеровать две композитные пробки с регулировкой параметров фрезерования для обеспечения оптимальных рабочих параметров ВЗД и фреза, что делает работу экономически выгодной для заказчика. ☉

plugs (CBPs); deploying CT-conveyed perforating (TCP) guns for opening two intervals; and milling out the two CBPs without taking returns to surface. All these runs were performed with a 2.875-in. tube wire-enabled CT telemetry (CTT) system. For the first time, a tension, compression and torque (TCT) subassembly was used to improve the milling operation.

The CTT system consists of a customized bottomhole assembly (BHA) that instantaneously transmits internal (i.e., inside the BHA) and external (i.e., outside the BHA) pressure and temperature, and casing collar locator (CCL) data to surface through a non-intrusive tube wire installed inside the CT. Monitoring the BHA force and torque data in real time helped improve the motor and mill performance and life because the weight on bit (WOB) could be adjusted to the recommended values. For instance, based on the optimum working ranges for the motor used, the operator decided how and when to modify the working variables to achieve a reliable and efficient milling process.

The CTT system alone helped set the first CBP at 5363 m measured depth (MD), set the second CBP at 5281 m MD, and perforate the intervals between 5297 and 5306 m MD and between 5152 and 5164 m MD. In addition, the CTT system with the TCT subassembly was used to mill the two CBPs in shut-in conditions, without any stalls. This created a continuous milling operation, reducing the job time and the working fluid volume compared to similar milling jobs using CTT system alone. Comparing this CBP milling job performance with a previous operation in another well with similar conditions (depth, deviation, etc.) using the CTT system alone reduced the milling time for one CBP by 22%. Although the overall job performance exceeded the operator's expectations, the working parameters used during the CTT system with the TCT subassembly job were not constant, leaving a few areas of improvement for the upcoming milling operations. For instance, the constant differential pressure and WOB were not used on every milling pass down.

The novelty of using the CTT system and TCT subassembly consists of real-time monitoring of BHA data for positioning two CBPs and opening new intervals exactly at the required depths. In addition, this approach enables removal of two CBPs by adjusting the milling parameters to achieve the optimum working parameters for the motor and mill, providing direct and positive financial impact for the operator. ☉