

СЕМИНАР

«Многостадийное заканчивание горизонтальных скважин, или Скважины с МГРП»

В рамках 15-й Международной научно-практической конференции «Колтюбинговые технологии, ГРП, внутрискважинные работы» 29 октября 2014 года специалистами компании «Шлюмберже» был подготовлен и проведен образовательный семинар «Многостадийное заканчивание горизонтальных скважин, или Скважины с МГРП».

В качестве слушателей семинара зарегистрировалось более 100 участников, представивших различные добывающие и сервисные компании России и ближнего зарубежья. Присутствовали также и иностранные гости.

Компания «Шлюмберже», которая являлась также и спонсором семинара, работает в России с 1929 года. Тогда был заключен первый контракт с советским правительством на реализацию проектов в Баку и Грозном. В 1932-м «Шлюмберже» и правительство СССР создали совместное предприятие, успешно действовавшее в течение пяти лет и проведшее более семи тысяч геофизических исследований – каротажей скважин общей протяженностью 1800 км на всей территории Советского Союза от Казахстана и Узбекистана до Байкала и Сахалина. Вернувшись в новую Россию в 1991 году, «Шлюмберже» первой из сервисных компаний выполнила геофизические исследования в скважинах на Варьеганском и Тагринском месторождениях в Западной Сибири. Сегодня среди заказчиков «Шлюмберже» – гиганты российской и мировой нефтяной и газовой промышленности: ОАО «Газпром», ОАО НК «Роснефть», НК «Лукойл», НК «Газпромнефть», ТНК-ВР, ВР, Royal Dutch/Shell, Exxon Mobil, Chevron, Texaco, Total, Agip и др.

Опыт, накопленный «Шлюмберже» при проведении МГРП по всему миру, охотно делились со слушателями семинара следующие специалисты компании:

- 1) Андрей Конченко, инженер интенсификации добычи;
- 2) Ольга Татур, инженер по геомеханике;
- 3) Евгений Деренговский, менеджер по технологиям ГТИ;
- 4) Анил Матур, технический директор департамента внутрискважинных технологий и интенсификации добычи;

- 5) Константин Бурдин, к. т. н., главный технолог департамента внутрискважинных работ, Россия и Центральная Азия;
- 6) Андрей Тимонин, специалист по промышленному каротажу и оценке целостности скважин;
- 7) Татьяна Кулагина, инженер-разработчик нефтяных и газовых месторождений;
- 8) Михаил Белов, менеджер по развитию рынка испытания скважин.

Технология выполнения МГРП, сложнейшего вида работ, основана на инженерной проработке и моделировании. При этом она предусматривает следующие этапы:

- 1) Геомеханика (является основой для последующего заканчивания скважины);
- 2) Заканчивание (доступ к коллектору там, где это нам необходимо);
- 3) Интенсификация притока (создание трещины в соответствии с пластовыми условиями);
- 4) Микросейсмический мониторинг (как «глаза» инженеров и как подтверждение правильности стратегии заканчивания);
- 5) Внутрискважинные работы (улучшение продуктивности скважины и альтернативный способ инициирования ГРП, отработанный метод изоляции этапов в фазе добычи);
- 6) Испытание скважины (понимание потенциала скважины с внедренной технологией заканчивания).

Открыл семинар **Константин Бурдин**, который, кроме того, что занимает высокую и ответственную должность в компании «Шлюмберже», является также старшим сопредседателем российского отделения Ассоциации специалистов по колтюбингу и внутрискважинным работам (ICoTA). Он поприветствовал всех слушателей семинара и выразил надежду, что каждый из них откроет для себя много нового и извлечет массу выгоды из данного образовательного курса продолжительностью восемь академических часов.

Первым из лекторов семинара выступал **Андрей Конченко**, инженер интенсификации добычи компании «Шлюмберже». Он начал свой рассказ с общей информации по интеграции данных для горизонтальных скважин с МГРП. Лектор отметил,



что для месторождения важными этапами системного подхода к разработке являются: создание системы разработки, сейсмическая интерпретация и анализ, петрофизика, геология и литология, создание модели трещиноватости пласта и геомеханической модели, а также 3D-геомоделирование. Что касается отдельно взятой скважины, то такими этапами являются: ее проводка и бурение, оптимизация заканчивания, дизайн ГРП, микросейсмическое картирование и моделирование притоков УВ. Далее лектор привел информацию о том, что в настоящий момент около 90% скважин являются вертикальными, тогда как остальные 10% относятся к горизонтальным. По прогнозам, по мере того как запасы легкоизвлекаемой нефти будут уменьшаться, а в разработку будет вовлекаться все большее количество нетрадиционных залежей, ситуация будет меняться на противоположную. То есть основная часть скважин (90%) будут с горизонтальным окончанием, в то время как 10% скважин будут относиться к категории вертикальных.

Также господин Конченко сказал, что переход от простого заканчивания скважин к более сложному требует роста интеграции опыта и дисциплин, более высокого уровня сложности расчетов и процессов, а также перехода от планарной трещины (1D) к комплексным трещинам ГРП (3D). К причинам, требующим применения интегрированного подхода, можно отнести: увеличивающиеся затраты на стимуляцию скважин, режим истощения и падающий дебит скважин, необходимость оптимизации процесса заканчивания (уменьшения количества кластеров/стадий, не участвующих в общей добыче). Кроме того, лектор заметил, что необходим новый взгляд как на качество пласта, так и на качество заканчивания скважин. В первом случае следует принимать во внимание такие параметры, как неоднородность пласта, его коллекторские свойства и литологию, ▶

естественную трещиноватость, разрывные нарушения, насыщение, подвижную воду, давление и температуру. Во втором случае к таким параметрам относят: упругие свойства пород, контрасты напряжений, чувствительность породы к жидкостям, горизонты бурения и их навигацию, площадь трещин ГРП и их локализацию, сложность системы трещин.

Специалист подчеркнул, что «учет параметров качества пласта и качества заканчивания позволили изменить подход к сегментированию горизонтального ствола и улучшить конечную площадь контакта с пластом и продуктивность скважины». А «микросейсмический мониторинг и промысловый каротаж в горизонтальном стволе – необходимые инструменты для оценки результатов рабочего процесса заканчивания скважин». В заключение своего вступительного доклада господин Конченко представил слушателям семинара видеоролик, наглядно демонстрирующий один из этапов оптимизации заканчивания скважин с МГРП, а именно контроль инициации единичной трещины. После этого он передал слово следующему докладчику.

Вторая часть семинара была посвящена использованию геомеханического моделирования для оптимизации бурения и разработки месторождения. В качестве лектора выступила **Ольга Татур**, инженер по геомеханике компании «Шлюмберге». Она начала с описания принципа геомеханического моделирования. По словам госпожи Татур, прежде всего, необходима модель механических свойств пласта, которая включает в себя упругие и прочностные свойства пласта, а также напряжение в породе и поровое давление. Такую модель можно получить исходя из геологии пласта (литологии и структуры) путем проведения каротажа и точечных замеров, отбора керновых проб, а также на основе фактических результатов бурения. Далее после калибровки и различных проверок можно создать модель разрушения пласта, т.е. просчитать все его механизмы, выяснить соответствующие причины, определить влияние этого разрушения на бурение и разработать способы его контроля. При помощи модели механических свойств пласта возможно следующее: моделирование устойчивости ствола скважины, оптимизация процессов ГРП, прогноз выноса песка, прогноз и обновление модели пластовых давлений, а также 3D-моделирование динамического поведения напряжений резервуара.

Что касается модели устойчивости ствола скважины, то ее можно применять для: выбора глубин спуска колонн, выбора дизайна КНБК и БТ, увеличения скорости проходки и бурения в целом, выбора процедуры СПО, подбора технологий по упреждению и устранению выявленных рисков, а также для оптимизации значений эквивалентной ▶



плотности циркуляции и удельного веса бурового раствора. После этого лектор перешла к описанию процесса оптимизации ГРП. Она продемонстрировала, что с помощью 3D-геомеханики возможны планирование заложения скважины с точки зрения безопасного бурения и проводки для последующего ГРП, учет изменения механических свойств и напряжений по латерали, а также оптимальное размещение портов ГРП и выбор дизайна геометрии трещины. Далее лектор обратила внимание слушателей на тот факт, что добыча и закачка изменяют напряжения в пласте и перекрывающих породах. Это, в свою очередь, приводит к изменению фильтрационных характеристик и проницаемости, закрытию трещиноватости, разрушению ГРП, выносу песка, проседанию пластов, реактивации разломов, изменениям градиента разрыва и устойчивости пород. На этом фоне, как правило, происходит падение дебита скважин или полная остановка добычи. Процесс 3D-моделирования позволяет с использованием соответствующего программного обеспечения (Petrel RG) оценить исходное и текущее состояния напряжений и деформаций в пласте, а также сделать прогноз на будущее. Это позволит контролировать вынос песка и учитывать влияние изменений пластового давления на добычу.

Следующим слово взял Евгений Деренговский, менеджер по технологиям ГТИ компании «Шлюмберже». Его часть доклада была посвящена технологиям геолого-технических исследований (ГТИ). Вначале лектор рассказал об одной из технологий оценки параметров качества пласта в процессе бурения – непрерывном идентификаторе флюида FLAIR. Данная технология представляет собой непрерывное количественное измерение композиционного состава пластового флюида, полученного из бурового раствора при вскрытии коллекторов. В результате можно получить уникальную характеристику пластового флюида в процессе

бурения скважины. Господин Деренговский продемонстрировал слайды, на которых видно существенное расхождение данных стандартных ГТИ с реальной ситуацией в скважине, тогда как технология FLAIR показывает хорошее согласие с реальными данными. Лектор также добавил, что такая технология позволяет осуществлять выделение фаций флюидов и контролировать качество проводки ствола скважины.

Далее речь пошла об углубленном анализе шлама (технологии ACC). Господин Деренговский рассказал о лабораторных исследованиях, которые компания «Шлюмберже» может осуществлять на буровой. Клиенту компании доступны: рентгеноструктурный анализ минералогического состава (XRD), рентгенофлуоресцентный анализ элементного состава (XRF), оценка общего уровня органического углерода (TOC) и цифровой микроскоп высокого разрешения (HRDM). Анализ изображений вкупе с результатами рентгеноструктурного анализа дают точное описание пробуренных пород. При этом на основе вышеописанного анализа выполняется выбор зон ГРП. Для этого оценивается коэффициент хрупкости породы, который является хорошим индикатором интервала, подходящего для гидроразрыва. Если порода содержит более 50% минералов, относящихся к хрупким, то интервал хорошо подходит для гидроразрыва.

После этого лектор продемонстрировал слайд, который показывает, как рентгенофлуоресцентный анализ помогает определить кровлю пласта. Последующие слайды демонстрировали преимущества комплексных технологий ГТИ. В частности, FLAIR-анализ, оценка фаций флюида, определение коэффициента хрупкости породы и рентгенофлуоресцентный анализ элементного состава в комбинации позволяют выделять в горизонтальных секциях скважин зоны, перспективные для освоения. Господин Деренговский показал результаты реального анализа, выполненного компанией «Шлюмберже» для одного из заказчиков. Специалисты по ГТИ на основе вышеупомянутого комплексного анализа выделили два перспективных для освоения участка в горизонтальной скважине, также был четко определен участок с тяжелой нефтью и интервал с высоким содержанием газа и низким содержанием нефти. Таким образом, в заключение своего выступления лектор подчеркнул важность проведения оценок параметров пласта во время бурения.

Далее слово опять взял **Андрей Конченко**. Он сосредоточил свое второе выступление на программном обеспечении (ПО) и новых технологиях МГРП. Прежде всего, речь велась о программном обеспечении Mangrove.



Докладчик рассказал, что ПО Mangrove – плагин пакета Petrel для проектирования операций заканчивания скважин с МГРП. ПО Mangrove использует интегрированный рабочий процесс моделирования заканчивания скважин с ГРП. Рабочий процесс позволяет оптимизировать процесс моделирования. Completion Advisor – рабочий набор инструментов, использующий каротажные данные и общие техники проектирования для определения наилучшего положения перфораций и стадий. Известно, что приток углеводородов зависит от неоднородности коллектора. Программа Mangrove позволяет оптимизировать стадии ГРП для максимального увеличения контакта с пластом и продуктивности скважины. При этом производится учет как структурных неоднородностей (трещины, разломы и т.д.), так и операционных ограничений (расход, длина стадий и т.д.).

Также докладчик остановился на двух различных комплексных моделях трещин ГРП, которые можно использовать в процессе моделирования. Эти модели отличаются механизмом формирования трещин и распределения пропантанта. Первая модель, именуемая Wiremesh Model, представляет собой полуаналитическую модель, построенную на эллиптической сетке. При этом в модели существуют два набора ортогональных трещин. Данная модель удобна тем, что требует меньше входных данных, а расчеты в рамках этой модели проходят быстрее. Вторая модель, которая называется Unconventional Fracture Model (UFM), является псевдо 3D-моделью развития непланарной трещины ГРП. Она учитывает эффект экранирования напряжений пласта и представляет собой явное моделирование пересечения трещин ГРП с естественными трещинами коллектора. После этого господин Конченко показал несколько слайдов с 3D-изображениями процесса моделирования геометрии трещин и соответствующей

калибровки, а также моделирования притока углеводородов (путем явного задания трещин, на неструктурированной прямоугольной сетке трещин и с помощью автоматического алгоритма построения сетки трещин).

Заключительную часть своего выступления лектор посвятил новым технологиям ГРП. Сначала он рассказал о технологии Broadband Sequence. Это технология ГРП для последовательной стимуляции перфорационных кластеров для максимизации контакта ствола скважины с пластом. BroadBand Sequence позволяет увеличить продуктивность и снизить затраты на заканчивание. Докладчик отметил, что данная технология может применяться в обычных и сланцевых пластах, в вертикальных и горизонтальных скважинах, в обсаженных и открытых стволах, при этом могут использоваться сшитые и гибридные жидкости. Особенности технологии включают в себя следующее: при ГРП используется смесь волокон и частиц с мультимодальным распределением размеров; данные волокна и частицы полностью разлагаемы; необходим малый объем материалов; технология довольно проста в применении; нет необходимости в капитальном ремонте скважины (КРС) для удаления волокон из скважины. К преимуществам относят: больший контакт с пластом, операционную эффективность (снижение времени работ) и снижение затрат на КРС.

Господин Конченко привел пример, демонстрирующий увеличение продуктивности скважины на 21% при использовании технологии ГРП Broadband Sequence по сравнению с соседней скважиной, где был проведен традиционный ГРП. Данный результат относится к скважинам сланцевого месторождения Eagle Ford в штате Техас. Добыча измерялась на протяжении 115 дней, а увеличение в 21% относится к нормализованной накопленной добыче.

После этого докладчик перешел к технологии ГРП HiWAY. Данная технология призвана решить проблему с проводимостью трещин, создаваемых в результате ГРП. С 60-х годов прошлого столетия проводимость трещин пытались повышать за счет улучшения жидкостей ГРП, применения новых пропантантов и деструкторов. Однако имеется теоретический предел проводимости, который превысить нельзя. Технология ГРП HiWAY позволяет создавать каналы в пропантанте за счет применения особых волокон, что существенно увеличивает проводимость трещин. Было отмечено, что новая технология компании «Шлюмберге» позволяет сократить время ГРП, приходящееся на каждую стадию, повысить объемы чистого флюида на стадию, а также увеличить среднюю длину полутрещины. Также новая технология значительно экономит



проппант. В заключение господин Конченко показал слайд, демонстрирующий, что технология МГРП NiWAY дает на 15% больше объема добычи нефти по сравнению с обычным МГРП.

Далее продолжил обучающий семинар **Анил Матур**, технический директор департамента внутрискважинных технологий и интенсификации добычи компании «Шлюмберже». Его часть была посвящена микросейсмическому мониторингу ГРП StimMAP. Лектор предложил слушателям окунуться в прошлое, продемонстрировав фото первого в истории ГРП, который был проведен в 1947 году. С тех пор мы многое узнали о ГРП. Однако все еще для проведения этой сложной операции требуются знания многих параметров, включая количество и объем стадий ГРП; ориентацию, длину и высоту трещин, их асимметричность, разветвленность, проводимость, количество и т.д. Далее были представлены трещины различной геометрии и соответствующие накопленные объемы газа, которые были добыты из скважин с такими трещинами. Оказалось, что наиболее выгодной с точки зрения объемов добычи является симметричная относительно ствола трещина с глубоко проникающими в пласт каналами.

После этого докладчик рассказал о существующих методиках диагностики трещин ГРП. Каждую из них он оценивал по способности определять азимут, высоту, длину и симметрию трещин. Первой методикой, упомянутой господином Матуром, были каротажные исследования. Они позволяют лишь со средним уровнем уверенности говорить о высоте трещины, тогда как об остальных ее параметрах данная методика практически не дает информации. Гидродинамические исследования и анализ дебита скважин, в свою очередь, позволяют судить о длине трещин со средним уровнем уверенности. Остальные параметры определяются с низким

уровнем достоверности. Моделирование ГРП с высокой долей уверенности дает информацию только о высоте и длине трещины. Исследования с использованием радиоактивных меток хорошо оценивают высоту трещины, средне – ее азимут, тогда как остальные параметры оцениваются ненадежно. Инклинометрия является более прогрессивной технологией, позволяющей с высокой уверенностью судить о высоте трещины и со средней – об остальных упомянутых выше параметрах. Но есть еще более продвинутая технология – микросейсмический мониторинг трещин. Она дает оценки азимута, длины и высоты трещины с большой достоверностью результатов и лишь симметрию трещины оценивает на среднем уровне.

Далее лектор объяснил слушателям, что такое микросейсмический мониторинг. Прежде всего, он рассказал о понятии микросейсмической активности, которая представляет собой изменения давления/напряженности, вызванные растрескиванием породы. Регистрация этих микросейсмических событий происходит путем пассивного мониторинга на кабеле с помощью акустических регистраторов, которые засекают «микроземлетрясения». В итоге мы получаем информацию об ответной реакции породы на воздействие ГРП. Было показано видео и несколько слайдов, демонстрирующих процесс микросейсмического мониторинга ГРП. Было отмечено, что с помощью специализированного программного обеспечения происходит переход к конкретным трехмерным координатам, петрофизическая интерпретация и картирование ГРП. ПО Petrel позволяет оценивать результаты обработки ГРП в 3D-формате.

После этого господин Матур перешел непосредственно к описанию сервиса StimMAP компании «Шлюмберже». Эта услуга, базируясь на данных микросейсмического мониторинга, их интерпретации и последующем картировании ГРП, позволяет оценить геометрию всех образовавшихся в процессе ГРП трещин, получить соответствующие 3D-изображения. Как правило, реальные результаты отличаются от проектного дизайна трещин. Однако информация, полученная сервисом StimMAP, позволяет внести коррективы по каждой из стадий ГРП (например, увеличить объем и расход, изменить вязкость жидкости ГРП, увеличить объем проппанта, изменить стратегию перфорации и т.п.) в зависимости от реальной геометрии трещин, что необходимо для оптимизации дизайна ГРП и итогового увеличения продуктивности скважины. Более того, мониторинг, осуществляемый в режиме реального времени, дает возможность вносить соответствующие коррективы «на лету». Затем лектор передал слово своему коллеге Константину Бурдину.



Константин Бурдин, главный технолог департамента внутрискважинных работ, Россия и Центральная Азия, компании «Шлюмберже» свою часть образовательного семинара посвятил описанию гибких труб (ГТ) в цикле строительства и освоения скважин с МГРП. Прежде всего, лектор дал описание задач ГТ в скважинах с МГРП. К ним относятся: доставка перфораторов и пробок, управление муфтами МГРП, очистка скважин от пропанта в горизонтальной части, фрезерование муфт и шаров, освоение, подготовка скважин к исследованиям и их проведение, проведение изоляционных работ, сокращение времени и стоимости работ. В качестве основных сложностей для ГТ в скважинах с МГРП господин Бурдин назвал: определение точной глубины, контроль веса, аномально низкие пластовые давления, переменный внутренний диаметр компоновок, песок ГРП между стадиями, а также значительные отклонения скважин от вертикали и сложные профили. Все эти проблемы увеличивают время работ с ГТ и их стоимость.

Докладчик отметил известную проблему достижения забоя в горизонтальных скважинах при использовании ГТ. К числу факторов, влияющих на это, относят: конструкцию скважины и ее профиль, соотношение внутреннего и внешнего диаметров ГТ, дизайн ГТ, их остаточный изгиб, выталкивающие силы и отложения в скважине. Для борьбы с названной проблемой компания «Шлюмберже» использует облегчение ГТ, понизители трения о стенку скважины, выпрямители, вибрацию ГТ, скважинные трактора. В качестве примера были приведены результаты операции промывки и освоения скважины на ГТ, проведенной специалистами компании. Осуществлялся спуск ГТ в скважину, на глубине 3300 метров произошло запирание трубы. Были закачаны химические реагенты, понижающие трение, что позволило пройти еще 400 метров. Однако на глубине 3700 метров опять произошло запирание. После этого

был активирован скважинный трактор, который и позволил достичь забоя на глубине 5827 метров.

Далее речь пошла о фрезеровании шаров и седел на ГТ. Господин Бурдин отметил, что важным фактором при проведении таких работ является правильный выбор трубы, так как она должна обеспечить необходимую нагрузку на долото, выдерживать крутящий момент, в два раза превышающий максимальный момент винтового забойного двигателя, а также должна проходить в минимальное сужение скважины. Было отмечено, что для многих работ компания «Шлюмберже» использует ГТ диаметром 1,75 дюйма (44,45 мм). После этого докладчик продемонстрировал видео фрезерования шаров и седел на ГТ. Основной сложностью при проведении таких работ является наличие остатка шара после окончания его фрезерования. Константин Валерьевич продемонстрировал фрагменты шаров и седел, которые привели к прихватам трубы при фрезеровании порта и при подъеме ГТ после фрезерования. После этого последовал конкретный пример работ в горизонтальной скважине Приобского месторождения с длиной горизонтального участка в 860 метров и установленной 7-стадийной компоновкой ГРП. Было отмечено, что ГРП провели за три дня (7 операций по 50 тонн пропанта), шары разбурены за два СПО, операционное время ГТ составило трое суток. При этом на фрезерование шара/седла тратилось около 40–60 минут. В итоге начальный дебит скважины составил 240 тонн/сутки, текущий – 105 тонн/сутки.

Докладчик также отметил, что при наличии в скважине компоновки с портами, предусматривающими их открытие/закрытие, компания «Шлюмберже» может использовать гидравлически активируемый инструмент диаметром 71,5 мм для проведения такой операции.

Затем речь пошла о технологии AbrasiFRAC TT. Эта технология позволяет выполнять абразивную перфорацию множества скважинных интервалов с последующим проведением ГРП за одну СПО, снижая стоимость работ. Для изоляции интервалов могут использоваться форсированные волокнами песчаные пробки или мостовые пробки. Лектор отметил, что первая работа в России по данной технологии была проведена в апреле 2012 года. Сегодня с использованием AbrasiFRAC TT закончено уже более 40 скважин. К преимуществам технологии относятся: стандартная система заканчивания; хорошее решение для хвостовиков и горизонтальных скважин; себестоимость работ ниже по сравнению с компоновками МГРП; использование стандартного цементируемого хвостовика или заколонных пакеров. К недостаткам причисляют: высокие требования к качеству цементированию

хвостовика; дополнительную необходимость в расширении ствола; наличие пакера с увеличенным внутренним диаметром.

После этого господин Бурдин рассказал об опыте работ компании «Шлюмберже» по водоизоляции с применением ГИС на ГТ. В спектр работ входили ГИС на ГТ для уточнения проблемных зон, работы по водоизоляции на ГТ, а также повторные ГИС на ГТ для оценки результатов выполненных работ. Результаты ГИС до начала ремонтно-изоляционных работ показали термоаномалию на глубине порта № 6 для МГРП. Оказалось, что порт дает воды в объемах до 68% от общей добычи. Разрез скважины по азимуту бурения подтвердил наличие водоносного пласта на 18 м ниже ствола скважины. Для водоизоляционных работ использовались специальные составы и цемент с наполнителями. Были установлены два надувных пакера, выше и ниже порта № 6, для изоляции интервала. Пакеры были посажены в колонне внутренним диаметром 99 мм, что позволило им выдерживать перепады давления в 390 атм. Всего было выполнено шесть СПО: шаблонный спуск; посадка первого пакера с закачкой баритного состава; посадка второго пакера, изоляция порта и закачка цемента, поднятие второго пакера; фрезерование остатков цемента; поднятие первого пакера; промывка и освоение скважины. Далее были показаны слайды пакеров после работы, демонстрирующие их удовлетворительное состояние. Работы по водоизоляции в скважине с МГРП полностью остановили поступление воды из порта № 6.

В заключение лектор остановился на системе АСТive для определения внутрискважинных параметров в реальном времени по оптоволоконному каналу связи. В основе системы лежит кабель из нержавеющей стали диаметром 1,8 мм, внутри которого располагаются четыре оптоволоконных канала. Этот кабель закачивается в ГТ, обеспечивая прекрасную защиту каналов связи. Малый диаметр кабеля не утяжеляет ГТ и практически не занимает места, позволяя прокачивать шары диаметром до 5/8 дюйма (15,9 мм). Система может применяться при температурах до 121 градуса Цельсия. При этом в реальном времени могут измеряться внутреннее и затрубное давления КНК, скважинная температура, может проводиться распределенное измерение температуры по стволу, имеется магнитный локатор муфт. В России с использованием технологии АСТive можно выполнять работы: по перфорированию, промывке, обработке призабойной зоны, изоляции, освоению, профилированию температуры, промысловому каротажу. Технология позволяет обеспечивать эффективный процесс работы, оптимальный для повышения

производительности, улучшать эффективность операции, увеличивая скорость и логистику, оптимизировать работу забойного инструмента, улучшить понимание внутрискважинных условий.

Следующим выступил **Андрей Тимонин**, специалист по промысловому каротажу и оценке целостности скважин компании «Шлюмберже». Он рассказал про промысловый каротаж в горизонтальных скважинах. Докладчик заметил, что промысловый каротаж – это замеры параметров флюида по глубине для получения информации о виде и движении флюида в скважине и околозабойной зоне. В результате обработки данных промыслового каротажа получают профиль притока по глубине. Господин Тимонин отметил, что в наклонно-направленных скважинах промысловый каротаж затруднен из-за сложного профиля притока, сегрегации флюида и его рециркуляции. К проблемам горизонтальных скважин можно отнести также: сегрегацию флюида, различные фазовые скорости, зависимость потока от наклона скважины. Решает многочисленные проблемы промыслового каротажа в горизонтальных скважинах технология Flow Scanner (FSI) компании. Прибор FSI имеет раскладывающееся колено, на котором установлены пять винтовых расходомеров (измеряют скорость флюида), шесть оптических датчиков (измеряют процентное содержание газа), шесть электрических датчиков (измеряют процентное содержание воды) и каверномер (измеряет внутренний диаметр скважины). Далее лектором было продемонстрировано несколько реальных применений технологии FSI в добывающих скважинах. Во всех случаях прибор Flow Scanner позволил существенно улучшить данные промыслового каротажа, а в некоторых случаях эта технология является безальтернативной, так как в горизонтальных и наклонных скважинах на забое имеет место очень сложный трехфазный поток и традиционные приборы не позволяют видеть всю картину целиком.

В самом конце образовательного семинара был сделан доклад на тему «Технологии испытания горизонтальных скважин с многостадийным заканчиванием». Он состоял из двух частей, первую из которых представила **Татьяна Кулагина**, инженер-разработчик нефтяных и газовых месторождений компании «Шлюмберже». Она остановилась на теории анализа данных испытаний горизонтальных скважин с многостадийным заканчиванием.

Прежде всего, были описаны принципы анализа данных гидродинамических испытаний скважин (ГДИС). В качестве первого примера была взята вертикальная скважина с измененной призабойной зоной пласта. Для такой скважины ожидается радиальная структура потока, а



исследования позволяют оценить проницаемость пласта k , скин-фактор S и коэффициент влияния ствола скважины (ВСС). Вторым примером выступает вертикальная скважина с трещиной ГРП. Для нее на начальных этапах установления потока ожидается линейная структура, которая после этого трансформируется в радиальную. Исследования позволяют оценить проницаемость пласта k , общий скин-фактор S_t (который должен быть <0), коэффициент ВСС, а также полудлину трещины x_f . Третьим примером была горизонтальная скважина. Для такой скважины исследования дают возможность оценить проницаемость k , общий скин-фактор S_t (который должен быть $\ll 0$), коэффициент ВСС, скин-фактор S , эффективную длину ствола L , а также среднюю проницаемость в вертикальной плоскости $\sqrt{k_x k_y}$. Что касается структуры потока в данной скважине, то вначале мы имеем линейное течение из пласта к трещинам, затем линейное течение к скважине между кровлей и подошвой пласта, а потом радиальное течение в пласте к скважине.

Было отмечено, что такие вещи, как неоднородности пласта в пространстве, разные проводимости трещин и их полудлины, неравномерное распределение трещин по стволу и интерференция от соседних скважин, влияют на поведение давления в процессе испытаний и дают неопределенности в полученных оценках параметров. Также очень важным параметром служит проницаемость пласта, так как он влияет на время достижения установившегося режима в скважине. При нескольких миллиардах (мД) на достижения установившегося режима требуются месяцы, а при десятых и сотых мД – уже годы. Лектор отметила, что классические ГДИС бывают непрактичны, а зачастую и вовсе нереальны. Альтернативой может служить анализ данных добычи (Rate Transient Analysis), который предусматривает постоянный мониторинг забойного давления, дебита (критично качество данных). Проблема в том, что для

этого необходима установка соответствующих систем перманентного мониторинга. Наконец, докладчик подчеркнула, что для снижения неопределенностей при оценках параметров нужна дополнительная информация от сейсмике и микросейсмике, профилометрии, скважинных имиджеров и т.п.

Последним выступал **Михаил Белов**, менеджер по развитию рынка испытания скважин компании «Шлюмберже». Его часть доклада была связана с технологиями испытаний скважин с МГРП. К стадиям работ при МГРП докладчик отнес: запись мини-ГРП, сопровождение МГРП, очистка скважины, проведение испытаний, оценка качества МГРП. При выборе комплекса ГДИС во внимание следует принимать такие факторы, как тип скважины (поисковая, разведочная, добывающая), возраст месторождения, тип скважинного флюида, наличие инфраструктуры, важность оценки заканчивания и наличие сопровождения МГРП подрядчиком по ГРП.

Господин Белов отметил, что компания «Шлюмберже» для качественной и достоверной оценки МГРП может предложить использование сочетания передовых технологий, включая сканер потока FSI, ГТ с системой ACTive, распределенное измерение температур (DTS) и многофазный расходомер Vx. Далее докладчик более подробно остановился на преимуществах и особенностях каждой из вышеупомянутых технологий, о которых упоминали или детально рассказывали предыдущие лекторы семинара.

В заключение господин Белов подчеркнул, что именно сочетание всех описанных передовых технологий обеспечивает клиента максимальной информативностью при оценке МГРП. Он заметил, что специалисты компании «Шлюмберже» осуществляют инженерное сопровождение цикла испытаний скважин, начиная от постановок целей и подбора оборудования и заканчивая проведением работ и анализом/интерпретацией результатов.

Следует особо отметить, что каждому из лекторов семинара «Многостадийное заканчивание горизонтальных скважин, или Скважины с МГРП» по окончании выступления задавалось множество вопросов, и несколько раз обсуждения перерастали в острые дискуссии. Всего было задано около сорока вопросов, что демонстрирует высочайший интерес слушателей к выбранной тематике.

Каждый слушатель семинара получил презентации докладов на электронном носителе.

Семинар завершился традиционным торжественным вручением именных сертификатов, свидетельствующих об успешном прохождении курса, всем слушателям.

Василий Андреев, «Время колтюбинга»