

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О КРУТЯЩЕМ МОМЕНТЕ И ТРЕНИИ

G. Liu, Pegasus Vertex, Inc., Хьюстон, США

ПРОБЛЕМА

Из-за усугубления проблем, связанных с бурением и заканчиванием нефтяных и газовых скважин по всему миру (рис. 1), быстро развиваются технологии, необходимые для обнаружения и последующей добычи нефти и газа. Более крупные буровые установки и верхние приводы, соединительные муфты с двумя буртиками для бурильных труб, новые инструменты и новые марки стали являются лишь некоторыми достижениями в технологиях за последние несколько десятков лет. Еще одним достижением в области технологий, необходимых для успешного обнаружения и добычи нефти и газа, являются современные пакеты программ, помогающие проводить предварительное планирование, усваивать и интерпретировать данные и решать другие задачи.

В нефтегазовой отрасли широко распространено мнение, что технологии, применяемые для обнаружения и добычи углеводородов, находятся на одном уровне с технологиями, используемыми НАСА для выведения спутников на орбиту и отправки астронавтов на Луну. Для бурения на регулярной основе с использованием инструментов, находящихся на глубине нескольких миль от поверхности Земли, при температурах, превышающих 300 °F, и давлениях более 5000 фунт/дюйм², требуются очень современные технологии. К скважинам, которые раздвинули рамки наших нынешних технологических возможностей, относятся скважина, пробуренная на

глубину более 40 000 фут на Кольском полуострове в России, и скважина в Катаре со сверхбольшим отклонением забоя глубиной менее 4 000 фут, которая отклонилась почти на 38 000 фут от буровой площадки (табл. 1).

Одной из самых сложных нерешенных проблем при бурении и заканчивании скважин является то, что данные на поверхности отражают лишь частичную картину того, что происходит в скважине (рис. 2).

Измерения нагрузки на крюке, крутящего момента на поверхности и давления в стояке могут указывать на наличие проблем в скважине, но даже опытным специалистам и инженерам часто приходится делать ответственные предположения о том, что происходит в скважине или с конкретным долотом или со спускаемым инструментом. Квалифицированные специалисты, руководствуясь лишь здравым смыслом, обычно принимают решения, которые могут стоить несколько миллионов долларов. Проблема заключается в том, что эти решения в силу необходимости почти исключительно основаны на неполных данных. Эти неполные данные можно назвать индикаторами на поверхности.

Когда поставщик центраторов утверждает, что его центраторы снижают трение обсадной колонны или хвостовика при их спуске в скважину, как можно это проверить? Когда поставщики смазочных составов утверждают, что она снижает коэффициент трения на целых 80–90 % в обсаженном стволе и в конкретных формациях, является ли это правдой? При проектировании сложной скважины или при приходе на новое месторождение на вопросы о диаметре труб, типе соединений и грузоподъемности буровой установки, необходимых для достижения проектной глубины, спуска обсадной колонны и заканчивания скважины, нельзя ответить без предварительного планирования и использования новейших пакетов программ, которые нужны для анализа различных вариантов.

Хотя данные по соседней скважине могут быть источником индикаторов, двух одинаковых скважин не существует. Кроме того, экономически неце-

Таблица 1. Скважины с отклонением забоя

Год	Максимальное отклонение, фут	Максимальная фактическая вертикальная глубина, фут
1975	10 900	31 441
1980	15 082	31 441
1990	24 203	31 441
1995	26 361	31 441
2000	35 197	31 441
2005	35 197	40 230
2009	37 956	40 230

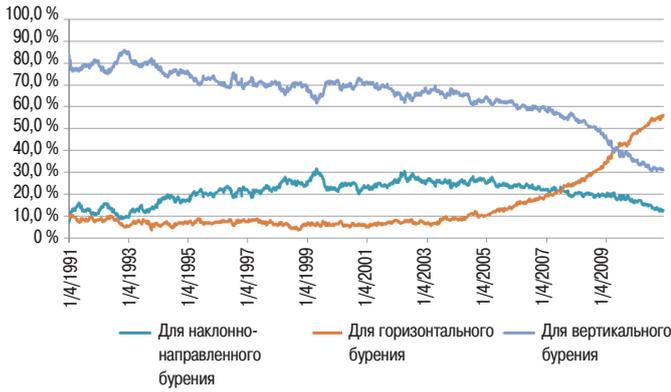


Рис. 1. Выраженное в процентах число буровых установок в США

лесообразно спускать обсадную колонну до проектной глубины без центраторов, поднимать ее из скважины, а затем вновь спускать с центраторами. В случае поломки инструмента часто возникают разногласия между компаниями-операторами и сервисными компаниями. Часто разрабатывают теории, основанные на имеющихся индикаторах на поверхности и состоянии инструментов, поднятых из скважины. Убедительные доказательства для разрешения разногласий часто невозможно получить без моделирующей программы, которая может дать более точную картину того, в каких условиях находилась колонна до, во время и после поломки.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО НАЛИЧИЯ ПРОБЛЕМЫ

Наиболее широко освещаемой в прессе проблемой последнего десятилетия, вероятно, является разлив нефти в Мексиканском заливе, ликвидация которого обошлась оператору в десятки миллиардов долларов. Не так широко освещаемые и менее значительные аварии ежедневно происходят в США. Хотя эти проблемы со скважинами, скважинным оборудованием и буровыми установками часто не приводят к существенному экологическому ущербу, они являются неизменной частью рисков при добыче нефти и газа. Финансовые расходы трудно оценить, но довольно часто они находятся в диапазоне 50 тыс. — 1 млн долл.

На нефтяных месторождениях, в которых углеводороды находятся в сложных условиях, возникают многочисленные осложнения при бурении и заканчивании скважин. Бурение одной скважины в Мексиканском заливе начиналось с ориентировочной стоимости 17 млн долл., но к тому времени, когда буровая компоновка достигла проектной глубины, было потрачено почти 90 млн долл. Данная скважина была разведочной и оказалась непродуктивной. Еще одна компания США успешно пробурела скважину с большим отклонением забоя. Для достижения завершающего интервала обсаженной скважины потребо-

валось использовать два разных типа оборудования, одно на эксплуатационной колонне-хвостовике, а другое на бурильной колонне для спуска колонны-хвостовика. К сожалению, колонну-хвостовик посадили в нескольких сотнях футов от забоя.

В статье IADC/SPE 98969 компания ExxonMobil обсуждает исследования, разработку и промышленное обоснование различных методов снижения крутящего момента, которые применялись при бурении менее глубоких скважин в смелом проекте бурения скважин с большим отклонением забоя на Дальнем Востоке России. Одним из примечательных результатов является то, что испытание смазки в лаборатории при идеальных условиях показало 50 %-ное уменьшение коэффициента трения, но на месторождении фактическое снижение крутящего момента составило 5 – 15%. Привлеченные инженеры также смогли установить значительное снижение крутящего момента для труб с жестким соединением по сравнению с трубами с изношенным жестким соединением, так как коэффициент трения стали был равен 0,21, а коэффициент трения жесткого соединения равнялся 0,15.

В статье SPE 125991 рассматриваются три скважины, в двух из которых возникли непредвиденные осложнения при бурении до проектной глубины, а в одной скважине возникли непредвиденные осложнения при ее заканчивании. Первая скважина была ограничена по мощности, а колонна была ограничена по крутящему моменту. Была задействована новая циркуляционная система, которая, как ожидалось, уменьшит крутящий момент на 5 – 10 %, но в результате он увеличился на 7 %. Во второй скважине была выявлена большая интенсивность искривления ствола, и буровая установка не смогла обеспечить крутящий момент, достаточный для завершения бурения. В стволе третьей скважины



Рис. 2. Индикаторы на поверхности и силы, действующие в скважине

имелся небольшой интервал с сильным искривлением. И хотя скважину добурили до проектной глубины, ее заканчивание стало невозможным без использования специальных инструментов, помогающих снизить трение.

ОСНОВНОЕ РЕШЕНИЕ

В связи с возрастанием рисков при бурении в новых районах, реализацией смелых проектов по бурению скважин с большим отклонением забоя, которые раздвигают привычные технологические рамки, и возникновением трудностей, связанных с определением конкретных причин аварий во время скважинных операций, на этапах предварительного планирования, контроля в реальном времени и последующего анализа используются многочисленные виды программ. Программа расчета крутящего момента и трения (torque and drag – T&D) является одной из самых широко применяемых видов пакетов программ. С помощью программы T&D можно оценить риски, связанные с бурением и заканчиванием скважин, а многие риски можно устранить на этапе предварительного планирования. Контроль операций в реальном времени может предупредить буровую бригаду о необходимости изменить режим скважины, а последующий анализ становится в значительной степени точнее с возможностью оценить воздействия, которым подверглись в скважине различные элементы колонны.

Предварительное планирование. С точки зрения предварительного планирования программа T&D позволяет устранить и снизить большинство рисков, связанных с планом буровых работ, схемой заканчивания или работой конкретных инструментов. На основе конкретных коэффициентов трения можно определить предельную длину горизонтального ствола. Можно оценить возможность приложения необходимой нагрузки пакера. Программа, способная анализировать воздействия в скважине, позволяет рассчитать характеристики оборудования буровой установки для крутящего момента и нагрузки на крюке.

В этой части статьи будут кратко рассмотрены коэффициенты трения. Коэффициент трения учитывает коэффициент трения между колонной и уже зацементированной обсадной колонной, называемый коэффициентом трения в обсаженном стволе

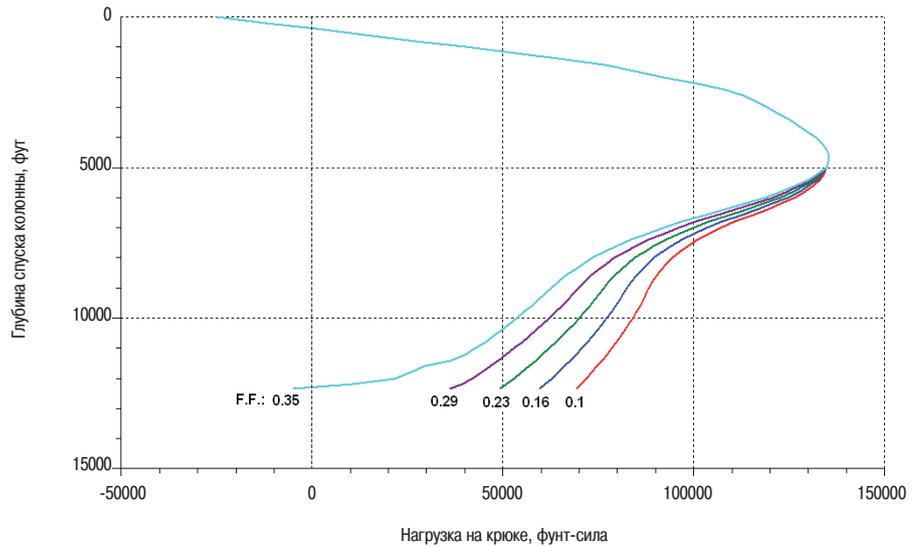


Рис. 3. Кривая чувствительности коэффициента трения

(cased hole friction factor – CHFF), коэффициент трения между колонной и необсаженным стволом, называемый коэффициентом трения в открытом стволе (open hole friction factor – OHFF) и множество других факторов. К этим факторам относятся качественная или неудовлетворительная очистка ствола и микроизвилистость между точками наблюдений.

Поскольку коэффициенты трения могут меняться, следует построить кривую чувствительности, показывающую степень риска OHFF. Ниже приводится кривая чувствительности коэффициента трения (рис. 3) для обсадной колонны, спускаемой с CHFF и OHFF в диапазоне от 0,1 до 0,35. При CHFF, равном 0,22, который характерен для бурового раствора на водной основе, и при OHFF, равном 0,1, регистрируется многообразие нагрузки на крюке на проектной глубине. При OHFF, равном 0,23, возможный вес спускаемой до проектной глубины компоновки. Должен достигать 50 000 фунтов. Коэффициент трения 0,35 достаточно большой в данной скважине, и поэтому невозможно добурить до проектной глубины даже в случае спуска компоновки.

Контроль в реальном времени. Контроль в реальном времени также является преимуществом использования программы T&D. Некоторые инженеры и техники берут с собой программы и кривые нагрузок на крюк на буровую при проведении буровых работ. По мере углубления скважины нагрузки на крюк можно сверять с расчетными значениями. Если фактические нагрузки на крюк совпадают с расчетной кривой при OHFF = 0,3 на протяжении нескольких тысяч футов, но затем переходят на

кривую с $OHFF = 0,4$, то в скважине что-то изменилось, например, снизилась эффективность очистки ствола. Появляется возможность изменить параметры режима бурения, например, снизить скорость проходки или прекратить циркуляцию до того, как осложнение действительно возникнет.

Последующий анализ. При какой-либо аварии в скважине между сервисными компаниями, нефтяными компаниями и буровым подрядчиком неизбежно возникают разногласия (относительно ее причин). Была ли допущена ошибка при проведении работ, произошла ли механическая поломка инструмента в скважине или же просто возникло непредвиденное осложнение из-за свойств формации? Моделирующую программу T&D можно откалибровать по фактическим значениям нагрузкам на крюк и крутящему моменту на поверхности для получения точных величин коэффициента трения. Затем программу можно использовать для анализа фактических воздействий, которым подверглись разные элементы колонны при возникновении осложнений.

Для любых причин от снижения рисков до того, как скважина будет очищена, управления операциями, отслеживание выполнения операций на основании производительности бурения или разработки сценария проблемы после того, как она возникла, программа моделирования крутящего момента и трения является превосходным и крайне необходимым средством для нефтяных и сервисных компаний. Любая компания, планирующая приобрести новую программу T&D, должна про-

верить ее, прежде чем принимать окончательное решение. Поскольку уравнения, используемые для моделирования крутящего момента и трения, мало изменились с тех пор, как их начали применять при бурении и заканчивании нефтяных и газовых скважин, задача оценки правильности расчетов является довольно простой.

НАШЕ РЕШЕНИЕ

После оценки правильности расчетов крутящего момента и трения возникает вопрос, какая программа обеспечит получение наилучших результатов, простоту применения и качество. Хотя основные расчеты одинаковы для любой программы T&D, имеющейся на рынке, существуют методологические отличия в отношении того, как учитывать изгиб колонны труб, как вычислять плотность элементов колонны, и когда приступать к искривлению, что может повлиять на результаты. Простота привыкания пользователя к экранам и к вводу информации повлияет на то, насколько легко пользователи примут программу, и насколько эффективно они будут проводить моделирование. Компания Pegasus Vertex, Inc., разработчик программ для бурения, производит, продвигает на рынке и поддерживает программу TADPRO с 2002 г. Эту программу используют многие крупные нефтяные компании и три из четырех крупных сервисных компаний.

Расчеты, используемые в программе TADPRO, можно найти в отраслевой документации, которую собрали с помощью профессоров. Сравнение этих расчетов с расчетами крупнейшего в отрасли конкурента, можно найти в статье SPE 143623. В уравнении вычисления крутящего момента учитывается изгиб колонны труб, что обосновано, учитывая активизацию горизонтального бурения в глинистых сланцах, рост числа искривленных стволов и скважин с большим отклонением забоя. При вычислении плотности значения плотности и веса фиксируются, в отличие от других программ, которые допускают колебания плотности, если пользователь редактирует имеющийся элемент для создания нового элемента (табл. 2), что часто происходит при необходимости использо-

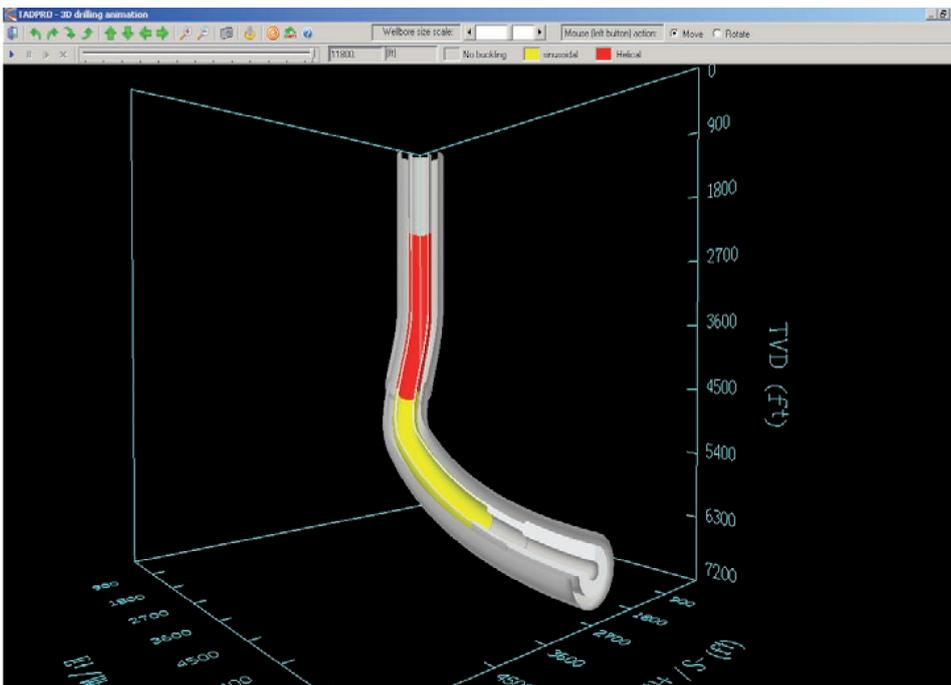


Рис. 4. Трехмерное видеопредставление продольного изгиба колонны

вать специальный инструмент для модели. Усилие, необходимое для возникновения продольного изгиба в программе TADPRO, более консервативно по сравнению с другими программами, чему всегда отдавали предпочтения компании при приближении потенциального продольного изгиба.

Таблица 2. Эквивалентная плотность воздуха (W_A) для программы TADPRO (программа А) и программы В (статья SPE 143623)

Плотность бурового раствора	W_A (программа А)	W_A (программа В)
2,08	15,67	16,75
8,5	15,67	18,50
17	15,67	20,82

Удобство в работе программы TADPRO не имеет себе равного в отрасли. Программа дает возможность пользователю импортировать PDF-файлы траекторий скважин и не требует от пользователя создавать файл Excel перед импортом. К интерфейсу пользователя легко привыкнуть, что позволяет быстрее приступить к моделированию. Автоматически создаваемые отчеты объединяются в документе Word, что позволяет их редактировать. А техническая поддержка предоставляется не только быстро, но является ценной и полезной.

Вывод графических данных в программе TADPRO превосходит возможности других программ T&D. Трехмерное графическое видеопредставление интер-

валов, в которых возникнет продольный изгиб при бурении, позволяет инженерам просматривать места возникновения продольного изгиба (рис. 4), его распространение и насколько серьезным он будет.

Еще одним важным моментом, который необходимо отметить, является то, что в отличие от других программ, в программе TADPRO имеется две производственные линии, позволяющие пользователю задавать каждый параметр. Другие программы не могут проводить расчеты, связанные с бурением на обсадной колонне из-за того, что талевый канат вращается со слишком большим числом оборотов, из-за чрезмерной натяжки, и во многих других ситуациях, которые могут возникнуть в скважине. Программа TADPRO обеспечивает универсальность и точность расчетов, и при этом в ней объединены возможности, которые облегчают использование и интерпретацию результатов.

Из-за неопределенности и больших затратах, связанных с бурением, спуском инструментов и предоставлением услуг, качественная программа оценки является необходимой частью инструментария любой нефтяной компании. Никто не будет переходить оживленную улицу с закрытыми глазами, и также никому не следует спускать в скважину инструмент или долото без четкого представления о том, с какими воздействиями они могут столкнуться.

Pegasus Vertex, Inc.
E: sales@pvicom.com

ПОЛЬША: РЫНОК ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА

Компания WelTec BioPower приступила к строительству первой в стране установки для получения биогаза мощностью 2,4 МВт в Даржино (Померания, Польша).

Начиная с лета 2013 г., на установке, расположенной примерно в 80 км западнее Данцига, субстраты из четырех резервуаров-хранилищ с помощью дозатора будут подаваться в четыре био-реактора из нержавеющей стали емкостью каждый 4438 м³.

Четыре резервуара емкостью 5000 м³ каждый обеспечивают достаточное место для сброженного органического осадка.

Ранее компания NEWD, которая также является основным инвестором установки, работала только в качестве оператора ветроэнергетических установок.

В настоящее время в Польше на ветроэнергетику по-прежнему приходится большая часть электроэнергии, вырабатываемой из возобновляемых источников. Как прибрежные районы, так и внутренние области страны являются весьма пригодными местами для установки ветряных турбин.

Сейчас компания NEWD решила производить биогаз, для чего она планирует положиться

на зарубежный опыт компании WelTec BioPower. Кроме того, компания из Нижней Саксонии представлена напрямую на строительной площадке своей дочерней компанией WelTec Polska и может обеспечить технико-экономическую стабильность установки с помощью своих комплексных услуг.

Инфраструктура Польши является идеальной, так как страна субсидирует децентрализованную выработку электроэнергии и тепла, и построена высокоразвитая инфраструктура для транспортировки газа и тепла.