

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ РОТОРНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ И УПРАВЛЯЕМОГО ДВИГАТЕЛЯ В НАКЛОННО-НАПРАВЛЕННОМ БУРЕНИИ, КРИТЕРИИ СРАВНЕНИЯ

Д.И. Новосельцев, А.В. Епихин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Аннотация. В научной работе рассмотрен вопрос об актуальности и эффективности применения роторных управляемых систем. Проведено сравнение показателей бурения с применением РУС по сравнению с бурением аналогичного интервала винтовым забойным двигателем с кривым переводником. Проведён широкий анализ опыта применения роторных управляемых систем на различных месторождениях. Сделан вывод о больших перспективах данной технологии не смотря на высокую стоимость и незначительные проблемы, возникающие в осложнённых горно-геологических условиях бурения.

Abstract. In scientific work the question of the relevance and effectiveness of the rotary steerable systems (RSS). A comparison of drilling using RSS compared with drilling the same interval downhole drilling motors with bent sub. Conducted a broad analysis of experience with rotary steerable systems on different fields. The conclusion about the great prospects of this technology in spite of the high costs and minor problems in complicated geological conditions of drilling.

Увеличение объемов добычи углеводородов связано с вводом в эксплуатацию новых площадей, а также доразработкой ранее открытых месторождений. Решение этих задач невозможно без строительства наклонно-направленных скважин, отработки методик проектирования и корректирования их траектории, совершенствования техники и технологии направленного бурения. При проектировании скважин операторы все чаще закладывают сложные траектории для вскрытия удаленных объектов, разработки нескольких залежей из одной скважиной, проникновения вглубь пласта и преодоления разрывных нарушений. Сложность бурения подобных скважин компенсируется повышенной эффективностью извлечения углеводородов из них за счет увеличенной площади контакта с продуктивным пластом. Одной из перспективных технологии в наклонно-направленном бурении на сегодняшний день является применение роторных управляемых систем (РУС). Их использование значительно упрощает проводку скважин сложной траектории, в том числе с протяженным горизонтальным участком.

Последние десятилетия в большинстве случаев используется искусственное искривление с помощью управляемого двигателя, которое вполне удовлетворяет требованиям заказчика. В данной работе выделены ключевые параметры сравнения этих двух методов на примере нескольких скважин.

Исходя из практики бурения скважин, следующие критерии выбора метода искривления можно считать наиболее значимыми:

- механическая скорость проходки;
- качество ствола скважины;
- эффективная длина горизонтальной секции;
- безаварийность проходки;
- стоимость оборудования.

На большинстве скважин, где применялись роторные управляемые системы, отмечают увеличение механической скорости бурения по сравнению с забойным двигателем. Так, например, специалисты Департамента буровых работ ОАО «Верхнечонскнефтегаз» и Департамента по геологии и разработке месторождений

компания *Schlumberger* приводят следующие данные для Верхнечонского нефтегазоконденсатного месторождения: средняя механическая скорость проходки с использованием РУС на четырех скважинах составила 16 м/ч (рекорд – 21,85 м/ч), что вдвое выше, чем при использовании винтовых забойных двигателей (ВЗД). Это позволило сократить цикл бурения горизонтальных секций на три дня – до 3,62 суток. Иными словами, на бурение 100 м с использованием РУС требуется вдвое меньше времени – 0,65 суток вместо 1,39 суток [3].

Также можно привести пример работы компании *Ultra Petroleum* на месторождении Марселлус. В 2010 году компания приступила к реализации ускоренной программы бурения, наметив несколько объектов бурения в рамках этого перспективного комплекса пород. Компания пробурила первую (контрольную) скважину на месторождении Марселлус с использованием управляемого объемного двигателя. Следующие 10 скважин были пробурены при помощи РУС *PowerDrive Archer*. В некоторых из них боковой ствол зарезали долгим поворотом на азимут 90° или более для выхода на уровень целевого горизонта при одновременном наращивании угла со скоростью до 8°/100 футов (8°/30 м) [1]. Возникновение геологических неопределенностей возле точки входа в пласт иногда требовало принятия корректирующих мер, например, часто было нужно увеличить темп набора кривизны. За одним исключением, скважины, пробуренные после первой, контрольной, обеспечили существенную экономию времени бурения. Кроме того, все колонны заканчивания были спущены без происшествий. Гибридная РУС также позволила глубже проникнуть в целевой объект, что привело к повышению дебитов добычи более чем вдвое.

При оценке механической скорости бурения также следует учитывать увеличение длины горизонтальной секции, обеспечиваемое применением РУС. Так, на упомянутом месторождении Марселлус, скорость набора кривизны составила 8°/100 футов (8°/30 м), что, по данным компании *Ultra Petroleum*, позволило оператору увеличить скорость проходки на 80% по сравнению со скважинами, пробуренными ранее при помощи объемных двигателей. После бурения гладкого ствола на всем изогнутом участке оператор смог перейти на РУС *PowerDrive X5*, которая пробурила боковой ствол длиной 4545 футов (1385 м) на проектную глубину всего за один проход. Высокая скорость проходки изогнутого интервала в сочетании с высокой скоростью набора кривизны и гладкостью пробуренного бокового ствола позволил сократить время бурения на 10 дней [1].

Другим немаловажным показателем является качество ствола скважины. Бурение управляемым двигателем характеризуется низким качеством ствола, волнообразными неровностями и резкими изгибами, при этом они являются практически неустраняемыми недостатками метода. Причиной этого является «скользящий» режим бурения. В этом режиме вращается только долото, а бурильная колонна просто следует за направляющей компоновкой. Основные сложности в этом случае вызваны недостатком вращения колонны труб. В процессе проходки бурильная колонна скользит по лежащей стенке скважины, промывочная жидкость движется вокруг нее неравномерно, что уменьшает выносящую способность раствора и способствует повышению риска прихвата колонны. Кроме того, повышается риск желобообразования и прихвата колонны. На рисунке 2 представлены изображения, полученные с помощью каверномера. Они показывают, что путем бурения с использованием объемного двигателя получается ствол скважины со спиралевидной канавкой (вверху на рис.), в то время как роторная управляемая система создает намного более гладкий ствол (внизу на рис.).

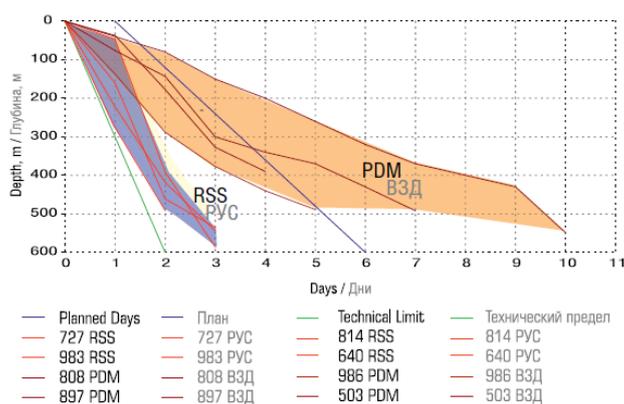


Рис. 1. График «глубина-день» для секции диаметром 152,4 мм (без времени на спуско-подъемные операции), по данным ОАО «Верхнечонскнефтегаз» для Верхнечонского нефтегазоконденсатного месторождения [3]



Рис. 2. Сравнение качества ствола скважины, построенного по данным каверномера: сверху – забойный двигатель с кривым переводником, снизу – роторная управляемая система [1]

Что касается эффективной длины горизонтальной секции, то здесь также отмечено преимущество РЭС, как в отечественном опыте бурения, так и за рубежом. Специалисты Департамента буровых работ ОАО «Верхнечонскнефтегаз» и Департамента по геологии и разработке месторождений компании *Schlumberger* приводят следующие данные: применение РЭС позволило эффективнее проводить скважину с использованием КВБ и размещать ее в самых продуктивных зонах. При этом эффективная длина горизонтальной секции увеличилась до более чем 70 % (скв. 814 – 86%), в то время как на скважинах, пробуренных с использованием ВЗД, этот показатель составляет всего 30%. В результате, дебиты скважин увеличились вдвое – до 200-250 т в сутки (скв. 814 – 290 т в сутки) [3].

На рисунке 3 представлена трехмерная траектория скважины, пробуренной на месторождении сланцевого газа Марселлус. В этой скважине оператор использовал РЭС PowerDrive Archer для отхода забоя от вертикали, бурения трехмерной дуги с изменением азимута более чем на 100° и последующего бурения наклонного участка. Неопределенность геологической модели заставила оператора изменить место вскрытия пласта более чем на 70 футов (21 м). После определения местоположения геологического маркирующего горизонта система РЭС быстро увеличила угол до

16°/100 футов (16°/30 м) для достижения целевого объекта, после чего оператор переключился на интенсивность набора кривизны 2° для плавной проводки скважины в пласт-коллектор [1].

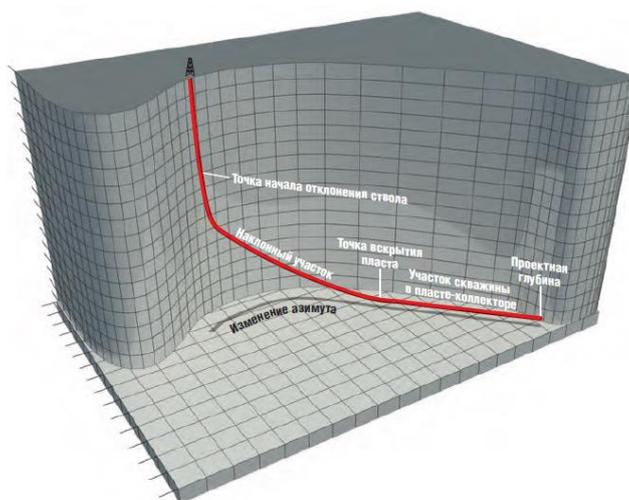


Рис. 3. Трехмерная траектория скважины

Безаварийность проходки является тем критерием, по которому сложно сделать определенные выводы. Причина аварии, в том числе с потерей инструмента, может быть не связана прямо с типом применяемого забойного оборудования. Тем не менее, исходя из условий применения забойного двигателя, можно сделать вывод о несколько большей опасности аварии. Это связано, в первую очередь, с уже упомянутым «скользящим» режимом бурения. Основной опасностью здесь является желобообразование и неравномерное движение промывочной жидкости вокруг колонны, что способствует возникновению прихвата.

Стоимостной критерий является наиболее существенным препятствием широкому внедрению роторных управляемых систем. Так, если РУС будет потеряна в скважине во время бурения, стоимость замены данного оборудования может превысить \$1 млн. А замена ВЗД обойдется примерно в \$200 тыс. Если главная проблема заключается в неустойчивости ствола, что может привести к потере КНБК, возможно, лучшим выбором станет именно забойный двигатель.

В заключении следует отметить, что сравнительный анализ практического применения РУС и забойного двигателя нельзя считать предельно объективным, так как объемы буровых работ с применением РУС на сегодняшний день несравнимо меньше, чем с применением забойного двигателя.

Литература

1. Фелцак Э., Торре А., Годвин Н., Мантл К., Нагнатан С., Хокинс Р., Ли Ке, Джонс С., Слейден Ф. Гибридная роторная управляемая система бурения – сочетание лучшего // Нефтегазовое обозрение. – 2012. – Т.23, №4. – С.60-52.
2. Шевченко И.А. Бурение скважин с большим отходом от вертикали с использованием роторных управляемых систем при контроле геофизических параметров в режиме реального времени // Естественные и технические науки. – 2014. – №1/2. – С.36-39.
3. Уилсон К., Шокарев И., Смолл Дж., Ахунжов Э. Результаты применения новых технологий в бурении при разработке сложного месторождения Восточной Сибири - Верхнечонского нефтегазоконденсатного месторождения // Нефтегазовая вертикаль. – 2011. – № 2. – С.54-55.

4. Заикин И.П., Панков М.В., Исмаилов Н.А., Пушкарев С.В. Применение роторной управляемой системы PowerDrive и системы каротажа PeriScore при бурении горизонтальной скважины // Нефтяное хозяйство. – 2009. – №11. – С.2-4.
5. Калинин В. Роторные возможности управляемого бурения // Сибирская нефть. – 2012. – №9. – С. 36-41.
6. Kelly K. Rotary steerable. Enable extended-reach and precision control in tight zones // Oil&Gas. EURASIA. – 2012. - №6. – P. 44-46.
7. Matheus J., Ignova M., Hornblower P. A hybrid approach to closed-loop directional drilling control using rotary steerable systems // SPE Latin America and Caribbean Petroleum Engineering Conference, 21-23 May, Maracaibo, Venezuela. – P. 84-89.

АНАЛИЗ ТИПОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВИБРАЦИОННЫХ СИТ И ОСОБЕННОСТЕЙ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Н.С. Плетнев, Н.В. Семенов

Научный руководитель старший преподаватель А.В. Епихин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Аннотация. Работа посвящена анализу типовых конструкций вибрационных сит для очистки бурового раствора. В работе приведена классификация существующих типов вибрационных сит, сформулированы их конструктивные особенности. Кроме того, проанализированы известные типы колебаний, используемых для очистки бурового раствора вибрационными ситами. Сделан вывод, что актуальным направлением развития конструкций вибрационных сит является работа с варьированием размеров и расположением конструктивных элементов, частот колебаний и их типов.

Abstract. The paper analyzes the typical structures shale-shakers to clean the mud. The paper shows the classification of the existing types of shale-shakers, formulated their design features. Furthermore, the known types of oscillation are analyzed, used to clean mud shale-shakers. It was concluded that the current direction of development of structures shale-shakers is to work with varying size and location of the structural elements, the oscillation frequencies and types.

Вибрационные сита, предназначенные для нефтяной промышленности, применяются для очистки бурового раствора от выбуренной породы т.е. шлама (10-25% шлама 75 мкм и выше). Кроме того, существуют специальные применения вибрационных сит, такие как восстановления кольматирующих добавок, утяжелителя бурового раствора и др.[1].

Классически, вибрационные сита являются первой ступенью очистки бурового раствора, находясь в самом начале технологической цепочки системы очистки бурового раствора (перед гидроциклонами (пескоотделителями и илоотделителями) и центрифугами); тем не менее, в некоторых случаях перед виброситами могут быть установлены сито-конвейеры, представляющие собой ленточные конвейеры с так называемой бесконечной цепью или бесконечной сеткой. Система очистки бурового раствора, таким образом, может состоять из различного набора технологического оборудования. При этом каждая последующая ступень очистки удаляет выбуренную породу меньшей фракции, чем предыдущая. Степень очистки каждой конкретной ступени зависит от большого количества факторов, но в среднем можно говорить о следующих «точках отсечки», (среднем размере удаляемых частиц выбуренной породы): вибрационное сито - очистка до 75 мкм, гидроциклон пескоотделителя - 45 мкм, гидроциклон илоотделителя - 25 мкм, центрифуга – 5...10 мкм.

При этом нужно учитывать, что точка отсечки конкретного технологического оборудования подчиняется закону нормального распределения, то есть утверждение,