УДК 622.24

Стимулирование процесса бурения верхним силовым приводом с использованием винтового забойного двигателя

С.Л.СИМОНЯНЦ , М. АЛЬ ТИИ

Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М.Губкина, Москва, Россия

Рассмотрено применение системы верхнего силового привода с винтовым забойным двигателем при бурении направленных скважин. Показаны преимущества и недостатки технологии вращения-слайдирования при использовании верхнего силового привода совместно с винтовым забойным двигателем. Доказано, что применение винтового забойного двигателя с одновременным вращением бурильных труб с помощью верхнего силового привода буровой установки позволяет увеличить частоту вращения долота без дополнительного нагружения бурильной колонны.

Получены промысловые данные обработки однотипных долот PDC в идентичных геолого-технических условиях с разными видами привода при строительстве трех направленных скважин на нефтяном месторождении Rumaila Республики Ирак. Доказано закономерное увеличение механической скорости проходки, которое объясняется ростом частоты вращения долота. По полученным данным выполнен сравнительный анализ показателей бурения, в результате чего доказана целесообразность совместного применения верхнего силового привода и винтового забойного двигателя при бурении нефтегазовых скважин.

Ключевые слова: бурение скважин; верхний силовой привод; винтовой забойный двигатель; нефтяные месторождения Республики Ирак; форсирование режима бурения

Как цитировать эту статью: Симонянц С.Л. Стимулирование процесса бурения верхним силовым приводом с использованием винтового забойного двигателя / С.Л.Симонянц, М. Аль Тии // Записки Горного института. 2019. Т. 238. С. 438-442. DOI: 10.31897/PMI.2019.4.438

Введение. У специалистов, занимающихся строительством нефтегазовых скважин, не вызывает сомнения тот факт, что применение верхнего силового привода (ВСП) буровой установки обеспечивает более высокие скорости бурения и уровень безопасности работ, чем использование традиционного бурового оборудования роторного типа. Преимущества применения системы верхнего привода заключаются в:

- экономии времени на наращивание труб при бурении;
- уменьшении вероятности прихватов бурильного инструмента;
- возможности расширения (проработки) ствола скважины не только при спуске, но и при подъеме инструмента;
- промывке скважины с одновременным вращением бурильной колонны;
- повышении точности проводки скважины при направленном бурении.

Сравнительный анализ показателей бурения, выполненный по результатам проводки роторным способом двух глубоких скважин на одном из нефтяных месторождений Республики Ирак [1], показал рост механической скорости проходки более чем на 20 %, полученный в основном за счет увеличения частоты вращения бурильной колонны с помощью ВСП.

Известно, что форсирование частоты вращения долота приводит к увеличению скоростных показателей бурения, но оно, как правило, ограничено прочностными характеристиками оборудования ротора и бурильной колонны, а наличие ВСП не всегда расширяет эти возможности. В то же время большой потенциал роторного способа бурения с помощью ВСП может быть реализован при использовании в компоновке низа бурильной колонны (КНБК) гидравлического забойного двигателя (ГЗД) [10, 12, 13, 14], в частности, винтового забойного двигателя (ВЗД) [3, 4, 6, 8, 11]. Применение ВЗД с одновременным вращением бурильных труб с помощью ВСП позволяет увеличить частоту вращения долота ($n_{\text{дол}}$) без дополнительного нагружения бурильной колонны. При этом частота вращения долота становится равной сумме частот вращения бурильной колонны с помощью ВСП ($n_{\text{всп}}$) и винтового забойного двигателя ($n_{\text{взд}}$):

$$n_{\text{дол}} = n_{\text{всп}} + n_{\text{взд}}. \quad (1)$$

Основная цель настоящего исследования состоит в получении количественных показателей, подтверждающих рост эффективности процесса бурения за счет совместного применения ВСП буровой установки и ВЗД.

Метод исследования. Целесообразность применения новой технологии, в которой исследуемым параметром является вид долотного привода, может быть определена в результате сравнительного анализа технико-экономических показателей бурения скважин в идентичных горно-геологических условиях при условии равенства прочих технических факторов. Для этого следует выбрать скважины, пробуренные на одном нефтяном месторождении, приблизительно на равную глубину с использованием одинаковых типоразмеров долот и другого бурового оборудования.

Для сравнения технико-экономических показателей бурения с помощью ВСП и ВЗД были проанализированы промысловые данные с трех наклонных скважин на нефтяном месторождении Rumaila, расположенном в южной части Республики Ирак. Основным способом бурения нефтяных скважин в Ираке является роторный с ВСП [1], что позволяет рассматривать его показатели в качестве репрезентативной базы сравнения.

Обсуждение. Работа винтового забойного двигателя в режиме постоянного вращения бурильной колонны является сложным производственным процессом [9, 14]. В последнее время эта технология широко применяется для бурения наклонных и горизонтальных скважин с постоянным контролем параметров кривизны при помощи забойных телеметрических систем MWD. Она позволяет обеспечить качественную проводку всех участков направленной скважины с доведением забоя до проектной глубины без подъема ВЗД и долота на поверхность. При этом используется короткий винтовой двигатель с искривленным переводником, имеющим небольшой угол перекоса осей. В процессе бурения вертикального или наклонно-прямолинейного интервала стабилизации зенитного угла бурильная компоновка медленно вращается с помощью ротора или ВСП. При возникновении необходимости изменить угол наклона скважины вращение компоновки прекращается, винтовой забойный двигатель устанавливается в нужном азимутальном направлении, и бурение продолжается с невращающейся бурильной колонной до набора требуемого значения зенитного угла. Этот режим углубления скважины называется *слайдированием* или *скольжением*. Если следующим является наклонно-прямолинейный или вертикальный интервал, то бурильная колонна вновь приводится во вращение. Весь процесс производится под контролем оператора с помощью забойной телесистемы. Технология вращения-слайдирования позволяет осуществить не только качественную проводку наклонной скважины, но и обеспечить значительный рост технико-экономических показателей бурения за счет уменьшения времени спуско-подъемных операций.

Вращение бурильной колонны при работе ВЗД в наклонной скважине имеет ряд технологических преимуществ:

- уменьшаются силы трения бурильной колонны в стволе скважины;
- увеличивается механическая скорость проходки;
- обеспечивается более качественная очистка ствола скважины от выбуренной породы.

Однако, в результате вращения также возрастают нагрузки на конструкцию винтового забойного двигателя [3, 7, 8, 14]. Это может быть критичным при установке на ВЗД больших углов перекоса, особенно на участках чрезмерного искривления ствола скважины. Интенсивное вращение бурильной колонны при неблагоприятных условиях может приводить к быстрому износу ротора и статора, избыточной нагрузке и износу радиальных опор шпинделя, нагреву корпуса ВЗД из-за трения о стенку скважины, повышенной усталости компонентов двигателя ввиду знакопеременной нагрузки.

В каталогах компаний-производителей ВЗД приводятся специальные таблицы с техническими характеристиками винтового забойного двигателя и предельными величинами интенсивности набора кривизны, рассчитанными на основе значений угла перекоса, диаметра ствола скважины и установленных стабилизаторов. Когда режим эксплуатации забойного двигателя близок к этим предельным величинам, частоту вращения бурильной колонны и осевую нагрузку на долото необходимо соответствующим образом ограничивать для сведения к минимуму негативных последствий от перегрузки ВЗД.

При вращении бурильной колонны с одновременной работой ВЗД необходимо также учитывать возможность перегрузки долота, из-за которой может произойти остановка двигателя. Бурильная колонна при этом может продолжать вращаться, но заблокированное долото вызовет торможение винтового забойного двигателя, сопровождающееся резким скачком давления на выходе насоса, достигающим значительных величин [2, 8].

Повышенное давление на выходе бурового насоса является существенным негативным фактором, сопровождающим применение любого гидравлического забойного двигателя. Однако, при использовании ВЗД следует принять во внимание, что давление насоса будет не только выше, чем при роторном способе, но оно также будет возрастать в процессе увеличения осевой нагрузки на долото. В момент внезапной остановки ВЗД в циркуляционной системе возникает гидравлический удар, который гасится с помощью переливного клапана, установленного над забойным двигателем и сбрасывающего поток бурового раствора в затрубное пространство. Указанные факторы следует учитывать при совместном применении ВСП и ВЗД.

Результаты исследования. В таблице приведены результаты сравнительного анализа технико-экономических показателей бурения с помощью ВСП и ВЗД, полученные при строительстве трех наклонных скважин на нефтяном месторождении Rumaila.

Результаты бурения скважин

Показатель	Скважина		
	R-23	R-29	R-51
Способ бурения	Роторный	ГЗД	Роторный + ГЗД
Вид привода долота	ВСП	ВЗД	ВСП + ВЗД
Буровая установка	ZB-924	DQ011	IDC 37
Буровой насос	12T1600 PUMP-MUD	12T1600 PUMP-MUD	12T1600 PUMP-MUD
Проектная глубина, м	3370	3455	3459
Угол искривления ствола наклонной скважины	78°	70°	80°
Интервал бурения, м	1835-3110	1961-3455	2161-3459
Диаметр долота, мм	215,9	215,9	215,9
Типоразмер долота	PDC MMD55H/M323	PDC M1652R/M322	PDC M1652R/M322
Типоразмер ВЗД	–	6.3/4 MOTOR 5/6	6.3/4 MOTOR 7/8
Модель двигателя	–	MICON Drill	PowerPak
Производитель ВЗД	–	MICON Drilling	Schlumberger
Расход бурового раствора, л/с	33	29	30
Плотность бурового раствора, кг/м ³	1260	1212	1200
Осевая нагрузка на долото, кН	90	80	100
Частота вращения ВСП, об/мин	80	–	50
Частота вращения ВЗД, об/мин	–	160	130
Частота вращения долота, об/мин	80	160	180
Общая проходка, м	1276	1494	1298
Количество долот	2	3	2
Общее время механического бурения, ч	590	420	282
Проходка на долото, м	638	498	649
Время работы долота, ч	295	140	141
Механическая скорость проходки, м/ч	2,16	3,55	4,60
Рейсовая скорость, м/ч	2,09	3,32	4,29
Стоимость метра проходки, дол.	1034	759	586

Изучение геологического разреза месторождения показало, что литологический состав и механические свойства горных пород рассматриваемых скважин идентичны. Это позволило провести сравнительный анализ показателей бурения в интервале применения долот одинакового типоразмера. В скважине R-23 использовался роторный способ бурения с помощью ВСП, в скважине R-29 винтовой забойный двигатель, а в скважине R-51 – ВЗД с одновременным вращением бурильной колонны с помощью ВСП. На всех буровых установках использовались однотипные буровые насосы, утяжеленные и бурильные трубы, а также долота PDC производства китайской компании.

Винтовой забойный двигатель MICON Drill немецкой компании MICON Drilling диаметром 172 мм (6 ¾"), заходностью винтовой пары 6/7 при расходе бурового раствора 29 л/с имел частоту вращения в холостом режиме 170 об/мин. При осевой нагрузке 80 кН рабочая частота вращения оценивалась приблизительно в 160 об/мин. Винтовой забойный двигатель PowerPak американской компании Schlumberger диаметром 172 мм (6 ¾"), заходностью винтовой пары 7/8 при

расходе бурового раствора 30 л/с имел частоту вращения в холостом режиме 140 об/мин. При осевой нагрузке 100 кН рабочая частота вращения оценивалась приблизительно в 130 об/мин. Вращение бурильной колонны с помощью ВСП с частотой 50 об/мин в скважине R-51 позволило отрабатывать долото с суммарной частотой вращения около 180 об/мин. Оценка частоты вращения на рабочем режиме ВЗД проводилась расчетным путем по методике [5, 14, 15].

Таким образом, были проанализированы показатели работы трех однотипных долот PDC в приблизительно равных геолого-технических условиях: глубина скважины, интервал бурения, расход и плотность бурового раствора, осевая нагрузка на долото при разных частотах вращения: 80, 160 и 180 об/мин. В результате установлено, что средняя механическая скорость проходки составила 2,16, 3,55 и 4,60 м/ч соответственно. Увеличение механической скорости является закономерным и объясняется ростом частоты вращения долота.

Также была выполнена оценка основного технико-экономического показателя строительства скважин – стоимости метра проходки в рассматриваемых интервалах бурения. Расчет проводился по формуле [5]:

$$C_m = \frac{B + R(T_6 + T_{сп}) + R_{гзд}T_6}{H}, \quad (2)$$

где H – длина интервала бурения, м; T_6 – общее время механического бурения интервала, ч; $T_{сп}$ – общее время спускоподъемных операций и вспомогательных работ, ч; B – суммарная стоимость всех долот, дол.; R – стоимость часа работы буровой установки, дол.; $R_{гзд}$ – стоимость проката ВЗД, дол./ч.

Числовые значения стоимости в формуле (2) принимались приблизительно, на основе неофициальных сведений о технико-коммерческих результатах бурения в рассматриваемом регионе: одно долото PDC = 50000 дол.; час работы буровой установки $R = 2000$ дол.; прокат ВЗД $R_{гзд} = 200$ дол./ч; среднее время СПО и ВР $T_{сп} = 10$ ч.

Анализ полученных данных показывает, что применение винтового забойного двигателя в составе КНБК с целью увеличения частоты вращения долота обеспечивает рост механической скорости проходки и рейсовой скорости при снижении стоимости метра проходки.

Вывод. Использование гидравлического забойного двигателя, в частности ВЗД, для стимулирования процесса роторного бурения с помощью ВСП является весьма эффективным способом повышения технико-экономических и скоростных показателей бурения и может быть рекомендовано при форсировании режимов бурения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аль Тиу М. Применение верхнего силового привода при бурении скважин на нефтяных месторождениях Республики Ирак / М. Аль Тиу, С.Л. Симонянц // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. 2017, № 3. С. 44-48.
2. Балденко Д.Ф. Одновинтовые гидравлические машины / Д.Ф.Балденко, Ф.Д.Балденко, А.Н.Гноевых: в 2 т. М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2007. Т. 2. Винтовые забойные двигатели. 470 с.
3. Балденко Д.Ф. Пути дальнейшего совершенствования технологии бурения скважин с применением винтовых забойных двигателей / Д.Ф.Балденко, А.В.Вервекин, В.М.Плотников // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2016. Т. 15. № 19. С. 165-174.
4. Двойников М.В. Оптимизация параметров бурения участков стабилизации зенитного угла / М.В.Двойников, П.А.Блинов, В.А.Морозов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2016. № 6. С. 65-71. DOI: 10.31660/0445-0108-2016-6-65-71
5. Леонов Е.Г. Совершенствование технологического процесса углубления скважины / Е.Г.Леонов, С.Л.Симонянц. М.: Изд. центр РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, 2014. 184 с.
6. Литвиненко В.С. Обоснование выбора параметров режима бурения скважин роторными управляемыми системами / В.С.Литвиненко, М.В.Двойников // Записки Горного института. 2019. Т. 235. С. 24-29. DOI:10.31897/PMI.2019.1.24
7. Молодило В.И. Влияние режимов бурения на износ рабочих органов винтовых забойных двигателей / В.И.Молодило, А.М.Гусман // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. 2016. № 2. С. 46-48.
8. Молодило В.И. Некоторые особенности эксплуатации винтовых забойных двигателей / В.И.Молодило, С.Н.Коротав, Г.А.Дьяконов // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. 2013. № 3. С. 28-33.
9. Морозов В.А. Исследование оптимального диапазона устойчивой работы системы «долото-винтовой забойный двигатель-бурильная колонна» / В.А.Морозов, М.В.Двойников, П.А.Блинов // Нефтегазовое дело. 2018. Т. 16. № 2. С. 35-43.

10. Морозов В.А. Обоснование выбора параметров режима направленного бурения скважин винтовыми забойными двигателями / В.А.Морозов, М.В.Двойников // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2019. № 2. С. 15-18. DOI: 10.30713/0130-3872-2019-2-15-18
11. Симонянц С.Л. Гидравлические забойные двигатели / С.Л.Симонянц, М.В.Двойников // Технология бурения нефтяных и газовых скважин. Т. 1. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2017. С. 448-522.
12. Симонянц С.Л. Проблемы модернизации турбинного бурения. Тюмень: Вектор Бук, 2003. 136 с.
13. Симонянц С.Л. Турбобур и винтовой забойный двигатель: диалектика развития. Turbodrill and Screw Motor: Development Dialectics / SPE Russian Petroleum Technology Conference and Exhibition. 2016. Moscow. 26 October. SPE 182147 RU.
14. Симонянц С.Л. Бурение скважин гидравлическими забойными двигателями. М.: Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М.Губкина, 2018. 208 с.
15. Симонянц С.Л. Определение рабочих параметров винтового забойного двигателя / С.Л.Симонянц, М.Аль Тии, А.В.Гуринович // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2018. № 11. С. 5-7.

Авторы: С.Л.Симонянц, д-р техн. наук, профессор, [ssturbo@mail.ru](mailto:sssturbo@mail.ru) (Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М.Губкина, Москва, Россия), М. Аль Тии, аспирант, mustafa.altae@mail.ru (Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М.Губкина, Москва, Россия).

Статья поступила в редакцию 22.02.2019.

Статья принята к публикации 21.05.2019.