



УДК 622.24

## ФОРСИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РОТОРНОГО БУРЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИНТОВОГО ЗАБОЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ



### FORCING ROTARY DRILLING MODES USING A SCREW DOWN HOLE MOTOR

**Симонянц Сергей Липаритович**

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры  
бурения нефтяных и газовых скважин,  
Российский государственный  
университет нефти и газа  
(национальный исследовательский университет)  
имени И.М. Губкина  
ssturbo@mail.ru

**Аль Тии Мостафа**

аспирант кафедры  
бурения нефтяных и газовых скважин,  
Российский государственный  
университет нефти и газа  
(национальный исследовательский университет)  
имени И.М. Губкина  
mustafa.altaee@mail.ru

**Аннотация.** Недостатком роторного способа бурения является невозможность форсирования скорости из-за относительно низкой частоты вращения долота. Применение ВЗД с одновременным вращением бурильных труб позволяет увеличить частоту вращения долота без дополнительного нагружения БК. При этом необходимо учитывать возможность перегрузки долота, из-за которой может произойти остановка работы ВЗД. Показано, что одним из актуальных направлений развития техники направленного бурения является создание гибридной роторной управляемой системы, интегрированной с гидравлическим забойным двигателем «РУС с ГЗД».

**Ключевые слова:** роторное бурение, гидравлический забойный двигатель, винтовой забойный двигатель, роторная управляемая система.

**Simonyants Sergey Liparitovich**

Doctor of Technical Science, Professor,  
Professor of drilling oil  
and gas wells department,  
National University of Oil and Gas  
«Gubkin University»  
ssturbo@mail.ru

**All Taae Mostafa**

Graduate student of drilling oil  
and gas wells department,  
National University of Oil and Gas  
«Gubkin University»  
mustafa.altaee@mail.ru

**Annotation.** The disadvantage of the rotary drilling method is the inability to speed up due to the relatively low bit rotation frequency. The use of PDM with the simultaneous rotation of the drill pipe allows you to increase the frequency of rotation of the bit without additional loading DC. At the same time, it is necessary to take into account the possibility of overloading the bit, because of which the stop of the operation of the PDM can occur. It is shown that one of the urgent directions in the development of directional drilling techniques is the creation of a hybrid rotary controlled system integrated with the downhole hydraulic motor «RSS & PDM».

**Keywords:** rotary drilling, hydraulic downhole motor, screw downhole motor, rotary steerable system.

При роторном способе бурения механическая мощность передается от ротора к породоразрушающему инструменту в результате вращения бурильной колонны (БК). При бурении с помощью гидравлического забойного двигателя (ГЗД) вращение породоразрушающего инструмента осуществляется забойным двигателем, устанавливаемым непосредственно над долотом. При этом бурильная колонна может проворачиваться, передавая крутящее усилие корпусу ГЗД. Вращение бурильных труб, являющееся обязательной и неотъемлемой операцией роторного способа бурения, имеет как положительные, так и отрицательные моменты. К последним относится большой расход мощности на вращение всей массы бурильной колонны и её трение о стенку скважины. Эти недостатки особенно сильно проявляются при бурении длинных, наклонных и горизонтальных стволов. В то же время, вращение БК значительно снижает риск затяжек и прихватов бурильного инструмента, а также обеспечивает высокое качество очистки и подготовки ствола скважины к спуску обсадной колонны.

Органическим недостатком роторного способа является невозможность форсирования скорости бурения из-за относительно низкой частоты вращения долота. Известно, что повышение частоты вращения долота приводит к увеличению скоростных показателей бурения, но на практике реализация такого режима, как правило, ограничена прочностными характеристиками оборудования ротора и бурильной колонны, и даже наличие верхнего силового привода (ВСП) не всегда расширяет эти возможности. В то же время, большой потенциал роторного способа бурения, особенно с помощью ВСП,



может быть реализован при использовании в компоновке низа бурильной колонны (КНБК) гидравлического забойного двигателя (ГЗД), в частности, винтового забойного двигателя (ВЗД) [1]. Применение ВЗД с одновременным вращением бурильных труб с помощью ВСП позволяет увеличить частоту вращения долота без дополнительного нагружения бурильной колонны. При этом частота вращения долота становится равной сумме частот вращения бурильной колонны с помощью ВСП и винтового забойного двигателя.

При увеличении осевой нагрузки на долото частота вращения вала ВЗД незначительно снижается, а суммарную частоту вращения долота можно определить по формуле [2]:

$$n = (n_x + n_{БК}) \left[ 1 - \left( \frac{M}{M_T} \right)^\alpha \right], \quad (1)$$

где  $n$  – частота вращения долота;  $n_x$  – частота вращения ВЗД на холостом режиме;  $n_{БК}$  – частота вращения БК;  $M$  – крутящий момент ВЗД, равный моменту на долоте;  $M_T$  – тормозной момент ВЗД;  $\alpha$  – показатель степени, характеризующий нелинейность зависимости  $n(M)$ , для новых (неизношенных пар) ВЗД можно принимать  $\alpha = 3$ .

Работа винтового забойного двигателя в режиме постоянного вращения бурильной колонны является сложным производственным процессом. В последнее время эта технология широко применяется для бурения наклонных и горизонтальных скважин с постоянным контролем параметров кривизны при помощи забойных телеметрических систем MWD [3]. 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 перегиба осей. В процессе бурения вертикального или наклонно-прямолинейного интервала стабилизации зенитного угла бурильная компоновка медленно вращается с помощью ротора или ВСП. При 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 постоянным 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 счёт уменьшения времени спускоподъемных 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 возрастает нагрузка на конструкцию винтового забойного двигателя. Это может быть критичным при установке на ВЗД больших углов перегиба, 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 даются специальные рекомендации по предельным величинам интенсивности набора кривизны, рассчитанным на основе угла перегиба, 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 [3].

При вращении бурильной колонны с одновременной работой ВЗД необходимо также учитывать возможность перегрузки долота, из-за которой может произойти остановка работы 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].

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 больше, 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.



В работе [1] были представлены результаты промысловых исследований показателей бурения трёх наклонных скважин на одном из нефтяных месторождений, расположенном в южной части Республики Ирак. Литологический состав и механические свойства горных пород рассматриваемых скважин были идентичны. В первой скважине использовался роторный способ бурения с помощью ВСП, во второй скважине винтовой забойный двигатель, а в третьей скважине ВЗД с одновременным вращением бурильной колонны с помощью ВСП. На всех буровых установках использовались однотипные буровые насосы, УБТ и бурильные трубы, а также долота PDC одного производителя. В результате сравнительного анализа показателей бурения в интервале от 1800 до 3500 м было установлено, что средняя механическая скорость проходки в указанных скважинах составила 2,16, 3,55 и 4,60 м/ч соответственно. Увеличение механической скорости является закономерным и объясняется, прежде всего, ростом частоты вращения долота. В результате расчета технико-экономических показателей установлено, что применение винтового забойного двигателя в составе роторной КНБК с целью увеличения частоты вращения долота, обеспечивает рост механической скорости проходки и рейсовой скорости при снижении стоимости метра проходки.

В последние годы роторный способ получил серьёзные преимущества в результате создания компьютеризированных роторных управляемых систем (РУС), которые позволяют осуществлять проводку скважины при точном выполнении проектного профиля практически любой пространственной конфигурации. Появление РУС составило серьёзную конкуренцию современным ГЗД, которые до последнего времени считались наилучшим техническим средством проводки наклонных и горизонтальных скважин.

Сегодня роторные управляемые системы выпускаются ведущими американскими компаниями Schlumberger, Halliburton, Baker Hughes, Weatherford. Подобные разработки ведутся и российскими предприятиями [4]. Они представляют собой новое поколение бурового оборудования повышенной надёжности и производительности с возможностью обеспечения оптимизации траектории ствола скважины при сокращении времени бурения. Автоматическое поддержание зенитного угла позволяет исключить человеческий фактор и обеспечивает строгое выполнение проектного профиля скважины, в т.ч. с длинным горизонтальным стволом. В разных конструкциях РУС используются внешние или внутренние отклоняющие элементы, которые управляются электроникой, синхронизируются с вращением бурильной колонны и находятся в постоянном контакте со стенкой скважины или приводным валом вблизи долота, что позволяет вести непрерывное управление траекторией ствола скважины. РУС устанавливается в нижней части бурильной колонны, постоянно вращающейся с помощью ВСП. В сочетании с функцией автоматического поддержания угла полное вращение обеспечивает гладкость стенки скважины. Роторные управляемые системы позволяют бурить пологие и горизонтальные скважины с большим отходом от вертикали.

Указанные преимущества технологии направленного роторного бурения с помощью РУС во многих случаях компенсируют высокую стоимость аренды зарубежного оборудования, особенно при проводке скважин на морских нефтегазовых месторождениях. Вместе с тем, недостатком роторного способа является невозможность форсирования скорости бурения из-за относительно низкой частоты вращения долота. Поэтому одним из актуальных направлений развития техники направленного бурения является создание гибридной роторной управляемой системы, интегрированной с гидравлическим забойным двигателем. Например, компания Schlumberger создала и выпускает роторную управляемую систему «PowerDrive Vortex», оснащённую высокомоментной силовой секцией, которая преобразует гидравлическую энергию бурового раствора в механическую [5]. Аналогичные разработки ведут и другие компании.

Пример компоновки «РУС с ГЗД» в модульном исполнении показан на рисунке 1. Над буровым долотом устанавливается роторная управляемая система (управляющий модуль), которая получает основное вращение от винтового забойного двигателя (моторный модуль). Выше устанавливается забойная телеметрическая система MWD (измерительный модуль). Далее УБТ и бурильные трубы. Вся бурильная колонна вращается с помощью верхнего силового привода. Таким образом РУС и долото вращаются с частотой, равной сумме частот вращения ВСП и ВЗД.

Увеличенные частоты вращения необходимы для повышения скоростных показателей бурения безопорными долотами PDC с алмазно-твердосплавными резцами. Лучшими значениями частот вращения для этих долот являются 250–450 об/мин. Реализовать такой режим бурения без применения гидравлического забойного двигателя невозможно.

Использование винтового забойного двигателя для стимулирования процесса роторного бурения является весьма эффективным способом повышения технико-экономических показателей [1, 3]. Увеличение частоты вращения долота приводит к закономерному росту механической скорости проходки. Однако эта схема повышает и технологический риск при строительстве скважины, т.к. применение винтового гидромотора для вращения РУС и долота может быть осложнено в случае перегрузки забойного двигателя, неустойчивости его работы и возможной остановки («срыва»). Частые отказы винтового забойного двигателя из-за перегрузки приведут к снижению результативности и эффективности процесса бурения рассматриваемого интервала скважины. Поэтому при эксплуатации системы «РУС с ГЗД» существенно необходимо ограничивать осевую нагрузку и не допускать работу забойного двигателя в неустойчивом режиме.

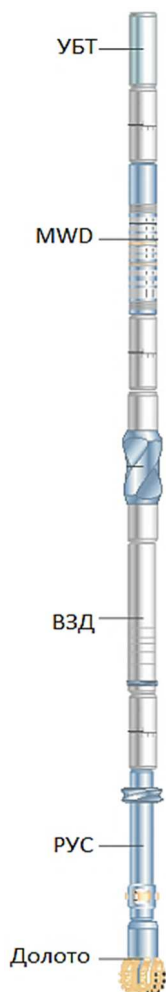


Рисунок 1 – Компоновка низа бурильной колонны с РУС и ВЗД

Также следует учитывать, что вращение несбалансированной компоновки, состоящей из роторной управляемой системы с долотом, общей длиной 3–3,5 м, может привести к поломке вала шпинделя винтового забойного двигателя. Такая поломка чревата серьезными последствиями, вплоть до оставления на забое дорогостоящего оборудования и необходимости проведения противоаварийных лопильных работ.

Экономическая эффективность моторизованного роторного способа бурения обеспечивается в основном за счет увеличения механической скорости проходки по сравнению с другими технологиями. Понятно, что суммарные затраты на аренду роторной управляемой системы и гидравлического забойного двигателя будут больше затрат на аренду только РУС (или только ГЗД). Поэтому разность этих затрат должна быть меньше экономического эффекта, полученного от ускорения проводки скважины.

### Выводы

Использование гидравлического забойного двигателя, в частности ВЗД, для форсирования параметров режима роторного бурения является весьма эффективным способом повышения технико-экономических и скоростных показателей бурения.

Система «РУС с ГЗД» является эффективным буровым оборудованием, позволяющим форсировать параметры режима бурения и за счет этого увеличивать технико-экономические показатели строительства наклонных скважин.

Для снижения технологического риска при эксплуатации системы «РУС с ГЗД» существенно необходимо ограничивать осевую нагрузку и не допускать работу забойного двигателя в неустойчивом режиме.

### Литература

1. Симонянц С.Л., Аль Тии М. Стимулирование процесса бурения верхним силовым приводом с использованием винтового забойного двигателя // Записки Горного института. – 2019. – Т. 238. – С. 438–442. – DOI: 10.31897/PMI.2019.4.354.



2. Симонянц С.Л., Аль Тии М. О вращении бурильной колонны при работе винтового забойного двигателя с долотом // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. – 2019. – № 3. – С. 44–48.
3. Симонянц С.Л. Бурение скважин гидравлическими забойными двигателями : учебное пособие. – М. : РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2018. – 208 с.
4. Закиров А.Я. Первые результаты испытаний роторно-управляемых систем российского производства // PRO Нефть. – 2016. – № 2. – С. 43–47.
5. PUC PowerDrive vortex. Интернет-сайт Schlumberger. [Электронный ресурс]. – URL : [https://www.slb.ru/services/drilling/drilling\\_measurements/powerdrive\\_family/powerdrive\\_vortex/](https://www.slb.ru/services/drilling/drilling_measurements/powerdrive_family/powerdrive_vortex/) (дата обращения 10.01.2020).

## References

1. Simonyants S.L., All Tae M. Stimulation of the drilling process of the top drive system using a downhole motor // Journal of Mining Institute. – 2019. – V. 238. – P. 438–442. DOI: 10.31897/PMI.2019.4.354.
2. Simonyants S.L., All Tae M. About the rotation of the drill string during operation of a downhole screw motor with a drill bit // Bulletin of Association of Drilling Contractors. – 2019. – № 3. – P. 44–48.
3. Simonyants S.L. Drilling of wells with hydraulic downhole motors : Textbook. – М. : Gubkin University, 2018. – 208 p.
4. Zakirov A.Ya. The first test results of rotor-controlled systems of Russian production // PRO Neft. – 2016. – № 2. – P. 43–47.
5. RCS PowerDrive vortex. Schlumberger. [Electronic resource]. – URL : [https://www.slb.ru/services/drilling/drilling\\_measurements/powerdrive\\_family/powerdrive\\_vortex/](https://www.slb.ru/services/drilling/drilling_measurements/powerdrive_family/powerdrive_vortex/) (date of the application 10.01.2020).