

Перспективы развития отечественных роторно-управляемых систем для бурения горизонтальных скважин

В. В. Салтыков^{1*}, Ю. С. Маковский², М. М. Мансурова¹

¹Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

²ООО «ОКТОГЕО», г. Тюмень, Россия

*e-mail: saltykovvv@tyuiu.ru

Аннотация. Для строительства высокотехнологичных скважин необходим комплекс специального оборудования. Основа современного оперативного, точного и безопасного бурения — роторные управляемые системы (РУС).

За последние пять лет РУС применяются в России как технико-технологическое решение, направленное на снижение аварийности и повышение качества строительства скважин с большим вертикальным отклонением расширенного радиуса бурения. Эти системы позволяют ориентировать бурение по всей длине скважины.

РУС позволяют бурить как идеально вертикальные скважины с углом отклонения по стволу не более 0,2°, так и горизонтальные стволы длиной более 2 000 м.

Внедрение роторных управляемых систем позволяет строить скважины с экстремально большими отходами ствола, точно проводить скважины в маломощных коллекторах (толщиной 1–2 м).

В 2016 году ООО «ОКТОГЕО» проводило опытно-промысловые работы с РУС-172 мм (с силовой парой) компании «APS Technology» на месторождении в Ханты-Мансийском автономном округе — Югре. По результатам работ и бурения наклонно направленной скважины были отработаны все программы позиционирования РУС. Было пробурено 2 205 метров.

Ключевые слова: роторные управляемые системы; оборудование; технология бурения; спуско-подъемные операции; угол наклона

Domestic rotary steerable systems development potential for drilling horizontal wells

Vladimir V. Saltykov^{1*}, Yury S. Makovsky², Mashkhura M. Mansurova¹

¹Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

²OktoGeo LLC, Tyumen, Russia

*e-mail: saltykovvv@tyuiu.ru

Abstract. A complex of special equipment is required for the construction of high-tech wells. The basis of modern time efficient, precise and safe drilling is rotary steerable systems (RSS).

For the past five years, rotary steerable systems have been using in Russia as a technical and technological solution to reduce accidents and to improve the quality of well construction with large vertical deviations of the extended drilling radius. These systems allow drilling to be oriented along the entire length of the well.

Rotary steerable systems allows drilling both perfectly vertical wells with a deviation angle of not more than 0,2°, and horizontal wells more than 2 000 metres long.

Implementation of rotary steerable systems allows building wells with extremely extended reach and conducting wells in 1–2 metres thick reservoirs with precision.

In 2016, OktoGeo LLC carried out pilot well program with APS Technology's 172 mm RSS (with power section) at an oil field in the territory of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Ugra.

All the rotary steerable system positioning programs were completed based on the results of that work and results of drilling 2 205 metres long directional well.

Key words: rotary steerable systems; equipment; drilling technology; tripping pipe; inclination angle

Введение

Важнейшим критерием эффективности разработки месторождений, позволяющим увеличить добычу углеводородов, является коэффициент извлечения нефти и газа. Увеличение этого параметра возможно при соблюдении следующих основных требований: сохранение естественных пластовых свойств пласта при его первичном и вторичном бурении; качественное цементирование обсадных колонн; высокотехнологичное освоение скважины; применение инновационных методов добычи нефти и газа. Значимость всех вышеперечисленных условий для повышения нефтеотдачи пластов несомненна. Однако необходимо выделить основное условие, которое позволяет объединить технические и технологические операции строительства скважины в одном направлении, — это бурение скважины по проектному профилю, траектория движения которого обеспечит точное бурение объекта разработки, предусмотренное координатами. Для этого применяют роторные управляемые системы (РУС).

Объект и методы исследования

За последние пять лет роторные управляемые системы применяются в России как технико-технологическое решение, направленное на снижение аварийности и повышение качества строительства скважин с большим вертикальным отклонением расширенного радиуса бурения. Эти системы позволяют ориентировать бурение по всей длине скважины. Использование роторных управляемых систем составляет более 15 % [1].

Роторные управляемые системы (РУС) — забойное оборудование, обеспечивающее возможность управления траекторией скважины при постоянном вращении бурового инструмента. Применение РУС позволяет снизить риски возникновения осложнений и аварий при наилучшем контроле за траекторией ствола.

Экспериментальная часть/постановка эксперимента

Технология бурения горизонтальных скважин с помощью РУС приобретает все большую необходимость и популярность. Вовлечение в разработку трудноизвлекаемых запасов нефти с небольшой проницаемостью, выход на шельфовые проекты Каспия [2], Сахалина [3] и Арктики [4] требуют бурения горизонтальных скважин большей длины. Для увеличения площади дренирования пласта средняя длина горизонтального участка увеличилась до 1 000–1 500 м, в шельфовых проектах при бурении отход от вертикали составляет 14 129 м, а общая длина скважины с горизонтальным окончанием составляет до 15 000 м¹.

По данным доклада ПАО «Газпром нефть» от 2019 года, потребность в технологии РУС будет расти с каждым годом, общее количество работ

¹ На Сахалине пробурили самую протяженную в мире скважину [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rosneft.ru/press/news/item/188675/>.

в 172 мм и 120 мм диаметре возрастет с 850 работ до 1 450 работ в 2023 году². Что соизмеримо в денежном эквиваленте — рост с 200 до 340 млн долларов капитальных затрат на сервис бурения скважин с РУС.

Основная проблема использования РУС заключается в том, что у российских компаний нет своих роторно-управляемых систем, поставки оборудования и оказание сервиса бурения скважин с РУС на 100 % осуществляется иностранными компаниями, большой четверкой американских сервисных компаний: Schlumberger³, Halliburton⁴, Baker Hughes⁵, Weatherford⁶. Компании оказывают сервис по бурению своими системами, стоимость бурения горизонтального участка 1 000 метров колеблется от 160 до 600 тыс. долларов. Компании не делятся технологиями, а также не участвуют в работе на санкционных проектах по бурению скважин в Арктике и на баженовские отложения. На данный момент в мире есть независимые производители РУС, такие как APS Technology⁷, National Oilwell Varco (NOV)⁸, D-Tech | Rotary Steerable⁹, Terra Vici Drilling Solutions¹⁰. В России представлены APS и NOV, но уже в течение 5 лет компании не вывели продукт на коммерческую работу, проходят опытно-производственные работы, стоимость оборудования колеблется от 1,5 до 3 млн долларов. Российские компании в рамках программы импортозамещения начали также разрабатывать роторно-управляемые системы, в настоящее время этим занимаются следующие компании: НПП ГА «Луч»¹¹, АО «КОНЦЕРН «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР»¹², ООО НПП «БУРИНТЕХ»¹³, ООО «Герс Технологии»¹⁴. Разработка и опытно-производственные работы в этих компаниях на разных стадиях, и также коммерческого продукта еще нет.

Результаты

В 2016 году ООО «ОКТОГЕО» проводило опытно-промысловые работы (ОПР) с РУС-172 мм (с силовой парой) компании APS Technology на месторождении в Ханты-Мансийском автономном округе — Югре¹⁵. По результатам работ и бурения наклонно направленной скважины были отработаны все программы позиционирования РУС, при этом было пробурено 2 205 м. В ходе работ были выявлены конструктивные недостатки в выдвигающихся отклонителях.

²Доклад ПАО «Газпром нефть» № 84 от 29.01.2019.

³Schlumberger: сайт компании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.slb.ru/>.

⁴Halliburton: Oilfield Services: сайт компании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.halliburton.com/ru-ru/default.html>.

⁵Baker Hughes: сайт компании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bakerhughes.com/>.

⁶Weatherford: сайт компании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.weatherford.com/ru/>.

⁷APS Technology | MWD, LWD and Downhole Drilling Systems: сайт компании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.aps-tech.com>.

⁸NOV National Oil well Varco: сайт компании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nov.com/>.

⁹D-Tech | Rotary Steerable: сайт компании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dtechdrilling.com/>.

¹⁰TerraVici Drilling Solutions: сайт компании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://terravici.com/>.

¹¹Научно-производственное предприятие геофизической аппаратуры «Луч»: сайт компании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.looch.ru/about/index.html>

¹²АО «Концерн ЦНИИ «Электроприбор»: сайт предприятия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elektropribor.spb.ru/>.

¹³ООО НПП «БУРИНТЕХ»: сайт предприятия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://burintekh.ru/>.

¹⁴ООО «Герс Технологии»: сайт компании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gerstech.ru/>.

¹⁵ООО «ОКТОГЕО»: сайт компании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://oktgeo.ru/>.

Были отмечены положительные стороны технологии проведения бурения с применением RSM-172 (РУС с силовой парой) «APS Technology», например, упрощение бурения скважины из-за сокращения количества спуско-подъемных операций (СПО) по сравнению с бурением с винтовым забойным двигателем (ВЗД). Направленное бурение с постоянным вращением всей компоновки исключает риски, связанные с прохождением прихватоопасных интервалов. Улучшение очистки скважины от шлама, сокращение времени на промывку перед наращиванием и СПО, так же РУС с силовой секцией снижает момент при вращении с верхним силовым приводом (ВСП) на поверхности, уменьшает нагрузку на скручивание на верхнюю часть инструмента по сравнению с РУС без силовой секции. Количество оборотов РУС без силовой секции на ВСП — 150–200 об/мин, с силовой секцией — 40–80 об/мин. На РУС с силовой парой увеличивается производительность компоновки на забое при оборотах на ВСП (40 об/мин), обороты на силовой паре при расходе 37 л/с (160 об/мин), общее количество оборотов в минуту — 200 на забое. Предотвращает риск затяжек инструмента, позволяет проводить сложные трехмерные профили с большим отходом из-за лучшего дохождения нагрузок и очистки ствола скважины. Набор параметров кривизны профиля скважины соответствует проектным значениям.

Телеметрическая система компании «APS Technology» выдает высокий процент декодирования, а также выдает большое количество данных, высокий процент точности замеров, корректность замеров удельного электрического сопротивления (резистивиметрия) и гамма-каротажа, что соответствует оборудованию ведущих мировых брендов, работающих в сфере разработки и производства телеметрических систем.

Программирование РУС интуитивно и понятно и зависит от изменения давления в скважине, регулируемого с помощью насосов и оборотов ВСП.

РУС компании «APS Technology» относится к роторно-управляемым компоновкам, где способ управления смещения долота относительно оси происходит по принципу «Push the bit». «Push the bit» — принцип смещения долота, при котором происходит давление на боковую поверхность породоразрушающего инструмента в определенном направлении из-за отклонения всего корпуса РУС с помощью трех лопастей, размещенных на управляемой части корпуса. Является классическим методом управления отклонения долота РУС и одним из самых надежных. Управляемая часть РУС полностью вращается с отклоняющимися лопастями, что является положительным фактором, исключаящим невращающиеся части в компоновке при бурении скважины.

Обсуждение

Положительные стороны автономности РУС также являются и ее недостатком, так как отсутствует обратная связь при программировании оборудования на определенные режимы отклонения или стабилизации. Результат программирования и работы РУС можно увидеть только после вхождения инклинометра в зону работы отклонителя, то есть при непромере 17 метров при использовании резистивиметра или 12 метров без резистивиметра. Для текущего определения пространственного положения забоя и долота не хватает обратной связи после программирования или наддолотного инклинометра.

Также необходима настройка в заводских условиях режима VDM (вертикальности) для возможности бурения без отклонения от вертикали по зенитному углу, для облегчения контроля траектории продолжительных вертикальных участков.

Для измерения эквивалентной циркуляционной плотности необходима комплектация прибора датчиком затрубного давления WPR, что позволит контролировать оседание шлама на забой скважины и своевременно принимать действия по его выносу. Это уменьшит количество проработок и снизит риск прихвата и возможной потери бурового инструмента, для этого требуется немагнитная утяжеленная бурильная труба (НУБТ) корректной длины (для помещения в нее батареи и пульсатора), однако при проведении ОПР применялась короткая НУБТ (9,29 м), что усложняло и увеличивало время на сборку телесистемы, не позволив ее выполнить штатным инструментом.

При программировании РУС с помощью изменения давления предъявляются повышенные требования к управлению изменения ходов насоса: наличие современной буровой с возможностью регулирования ходов насосов бурильщиком, возможность плавного изменения ходов насоса с помощью частотного преобразователя на насосах. При длительном программировании режимов бурения, когда время снятия замеров составляет 5 мин, а при сбросе предыдущих настроек требуется дополнительное время около 7 мин, данные операции отрицательно влияют на состояние прихватоопасных участков.

Еще один недостаток РУС — невозможность проведения технического обслуживания на территории РФ.

Основные преимущества РУС над ВЗД: увеличение механической скорости проходки и, соответственно, уменьшение времени бурения скважины за счет более равномерной отработки долота, улучшение очистки скважины от шлама, сокращение времени на промывку перед наращиванием и СПО, снижение рисков возникновения прихватов как дифференциальных, так и из-за шламования ствола скважины, уменьшение динамических скачков давления и снижение вероятности гидроразрыва пород.

При этом улучшается качество ствола скважины с минимальной микрокревизной, отсутствие спиральной выработки за счет постоянного контроля положения режущей поверхности долота, что позволяет провести успешное заканчивание бурения скважины в плане спуска обсадных колонн и пакеров для многостадийного гидроразрыва пласта, позволяет проводить сложные трехмерные профили с большим отходом.

К недостаткам РУС можно отнести следующее:

- высокую стоимость сервиса бурения с РУС;
- высокую стоимость оборудования РУС и отсутствие коммерческих, успешных моделей у независимых производителей данного оборудования;
- ограничение по расходу бурового раствора и буровым насосам;
- применение специализированных долот.

В проектах для бурения скважин на суше большинство скважин бурят с ВЗД, и возникают споры об экономической целесообразности использования РУС, так как скважины с горизонтальными участками до 1 000–1 200 метров возможно бурить и с ВЗД, правильно используя технологические возможности компоновки низа бурильной колонны (КНБК) (амортизаторы, осцилляторы, ВСП), это связано с дохождением нагрузки до забоя, а также с использованием буровых растворов на углеводородной основе. С шельфовыми проектами дела обстоят иначе из-за большой стоимости буровой платформы и высокой стоимости мобилизации при бурении других участков, поэтому с платформы или с шельфового берега бурят максимальное количество скважин с большими отходами.

Выводы

Для удешевления технологии бурения длинных горизонтальных участков скважин к вышеперечисленным методам оптимизации дохождения нагрузок также возможно отнести применение калибраторов с изменяемым диаметром (КИД). В данный момент компания «ОКТОГЕО» разрабатывает такое оборудование под наименованием «калибратор с изменяемым диаметром (КИД)». Принцип работы заключается в использовании отклоняющих и маятниковых сил для изменения зенитного угла в процессе роторного бурения с ВЗД и телеметрической системой. Также использование КИД позволяет контролировать угол наклона.

КНБК при вращательном бурении без дополнительных СПО для изменения положения отклонителя или замены инструмента. При вращательном бурении можно управлять наклоном компоновки путем переключения между двумя различными положениями. При большем времени вращения обеспечиваются более эффективная передача нагрузки на долото, более тщательная очистка скважины и высокое качество ствола с возможностью большего отхода от вертикали при меньшем числе СПО для внесения изменений в КНБК. Все это обуславливает высокую эффективность оборудования КИД компании ООО «ОКТОГЕО» при бурении скважин с большим отходом от вертикали и горизонтальных скважин.

Принцип работы. КИД функционирует за счет выдвижения поршней, установленных в полностью закрытых лопастях калибратора. Простая поворотная система обеспечивает переключение между положениями «полное открытие» и «неполное открытие», удерживая инструмент в нужном положении до тех пор, пока насосы включены. После отключения насосов поршни убираются ниже диаметра лопастей. При повторном включении насосов поршни выдвигаются до следующего положения.

Положение поршня определяется разницей давления на стояке величиной 11–15 МПа. Недостатком является то, что бурение контролируется только по зенитному углу, угол по азимуту можно контролировать с помощью ВЗД и телеметрии. Для использования КИД необходимо заранее проработать траекторию с минимальными разворотами по азимуту в горизонтальном участке, и тогда длину бурения горизонтальных участков скважин можно увеличить до 3 000 метров без РУС.

Библиографический список

1. Двойников, М. В. Проектирование траектории скважин для эффективного бурения роторными управляемыми системами / М. В. Двойников. – DOI 10.25515/PMI.2018.3.254. – Текст : непосредственный // Записки Горного института. – 2018. – Т. 231. – С. 254–262.
2. Авербух, Б. М. Промышленная нефтегазоносность шельфа Северного Каспия / Б. М. Авербух, С. А. Алиева. – Текст : непосредственный // Геология нефти и газа. – 2006. – № 1. – С. 18–24.
3. Черепанов, В. В. Мезозойский фундамент — перспективное направление поисков углеводородов на шельфе Сахалина / В. В. Черепанов, В. В. Рыбальченко, Г. Н. Гогоненков. – Текст : непосредственный // Газовая промышленность. – 2014. – № 11 (714). – С. 22–28.
4. Белоконь, С. В. Возможности ускорения работ по выявлению и освоению месторождений нефти и газа на шельфе морей Западной Арктики / С. В. Белоконь. – Текст : непосредственный // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2006. – № 11. – С. 31–35.

References

1. Dvoynikov, M. V. (2018). Designing of Well Trajectory for Efficient Drilling by Rotary Controlled Systems. *Journal of Mining Institute*, (231), pp. 254-262. (In English). DOI: 10.25515/PMI.2018.3.254
2. Averbukh, B. M., & Aliyeva, S. A. (2006). Commercial oil and gas potential of the northern caspian shelf. *Oil and gas geology*, (1), pp.18-24. (In Russian).
3. Cherepanov, V. V., Rybal'chenko, V. V., & Gogonenkov, G. N. (2014). Mezozoyskiy fundament - perspektivnoe napravlenie poiskov uglevodorodov na shel'fe Sakhalina. *Gas Industry*, (11(714)), pp. 22-28. (In Russian).
4. Belokon', S. V. (2006). Vozmozhnosti uskoreniya rabot po vyyavleniyu i osvoeniyu mestorozhdeniy nefti i gaza na shel'fe morey Zapadnoy Arktiki. *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, (11), pp. 31-35. (In Russian).

Сведения об авторах

Салтыков Владимир Валентинович, д. т. н., профессор кафедры бурения нефтяных и газовых скважин, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, e-mail: saltykovvv@tyuiu.ru

Маковский Юрий Степанович, генеральный директор ООО «ОКТОГЕО», г. Тюмень

Мансурова Маихура Музаффаровна, ассистент кафедры бурения нефтяных и газовых скважин, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Information about the authors

Vladimir V. Saltykov, Doctor of Engineering, Professor at the Department of Drilling Oil and Gas Wells, Industrial University of Tyumen, e-mail: saltykovvv@tyuiu.ru

Yury S. Makovsky, General Director of OktoGeo LLC, Tyumen

Mashkhura M. Mansurova, Assistant at the Department of Department of Drilling Oil and Gas Wells, Industrial University of Tyumen