

Т.О. Акбулатов, Л.М. Левинсон, Р.А. Хасанов,
Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО РАДИУСА ИСКРИВЛЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ РОТОРНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ (РУС)

Начиная с 50-х годов прошлого века постоянно возрастают объемы бурения скважин с горизонтальным окончанием (так называемые горизонтальные скважины – ГС). Абсолютное большинство из них бурится с использованием забойных двигателей. Однако при бурении ГС возникают серьезные трудности. Главными из них являются проблемы с транспортом выбуренной породы по горизонтальной и сильнонаклонной части ствола, трудности с передачей нагрузки на долото вследствие больших сил трения, необходимость подъема бурильной колонны и смены компоновки при достижении заданных параметров кривизны ствола и т.д. Эти трудности возрастают с увеличением длины горизонтального участка.

При строительстве скважин на шельфе в силу ряда причин (высокая стоимость морских платформ, сложная ледовая обстановка) возникает необходимость проводки скважин с очень большими отходами, у которых длина ствола L много больше глубины скважины по вертикали H ($L/H \gg 1$). Проводка таких скважин с использованием забойных двигателей при невращающейся бурильной колонне в ряде случаев вообще невозможна.

Все это обусловило необходимость разработки роторных управляемых систем. Первый патент на роторную управляемую компоновку относится к 1902 году. В нем была заложена возможность разработки систем для бурения с непрерывным отклонением компоновки низа бурильной колонны от оси скважины при её вращении.

На данный момент подобные системы были разработаны основными зарубежными производителями, такими как «Бейкер-Хьюз», «Халлибёртон», «Нобль Дриллинг», «Шлюмберже»,

«Ротари Стирабл Тулз». Они различаются по конструкции, но основным их принципом является использование вращающейся вместе с колонной труб телеметрической системы, на которой установлены внешние или внутренние отклоняющие элементы. Последние управляются электроникой, синхронизируются с вращением бурильной колонны и находятся в постоянном контакте со стенками скважины или валом близи долота, что позволяет вести непрерывное управление траекторией ствола скважины.

Автономная телеметрическая система выдает замеры инклинометрии и свойств горных пород, слагающих разрез скважины, на поверхность посредством различных каналов связи, чаще всего гидравлического канала. Большинство телесистем также управляется с поверхности посредством передачи управляющих сигналов, то есть существует двусторонний канал связи. Следует отметить, что некоторые интеллектуальные роторные телесистемы могут

быть запрограммированы на полностью автономную работу по бурению ствола скважины с использованием алгоритмов исправления траектории.

Роторные управляемые системы позволяют бурить пологие и горизонтальные скважины с более ровным профилем из-за отсутствия перегибов ствола (обычных при использовании забойных двигателей) с большим отходом за счет снижения трения и лучшей очистки ствола. Более высокая скорость проходки с постоянным вращением бурильной колонны предотвращает вероятность прихватов бурильного инструмента, сокращает время на очистку ствола от выбуренной породы, снижает пагубное воздействие бурового раствора на продуктивный пласт и обеспечивает более быстрый ввод скважин в эксплуатацию. Система «Пауэрдрайв» («Шлюмберже») играла решающую роль в бурении скважины М-11 с рекордным отходом 10 км на месторождении Вич Фарм в Южной Англии. Высокая ско-



ЗАМКИ ДЛЯ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ ВТУЛКИ и ШТОКА МУФТЫ НКТ, ОТТГ, ОТТМ ПЕРЕВОДНИКИ ПОРШНИ
 г. Орск, ул. Крупской, 1, тел.: (3537) 29 00 69, факс: 29 00 60, www.ormash.ru, e-mail: export@ormash.ru

рость проходки позволила сократить время бурения на 24 дня и сэкономить 1,2 миллиона долларов. Аналогичные результаты были получены при бурении с другими роторными управляемыми системами.

Бурение нескольких скважин с использованием роторных управляемых систем на месторождениях Западной Сибири и острова Сахалин доказало возможность их применения в отечественных условиях. Основными преимуществами являются: высокая скорость проходки, улучшение качества ствола скважины, уменьшение загрязнения пласта фильтратом бурового раствора, отсутствие осложнений, относительно большой диаметр скважины. Однако в России подобные системы имеют ограниченное применение, поскольку требуют использования буровых установок с верхним приводом.

Положительные стороны роторных управляемых систем:

- увеличение механической скорости проходки и соответственно уменьше-

ние времени бурения скважины за счет более равномерной обработки долота и исключение подъема работоспособного долота для изменения геометрии забойного двигателя;

- улучшение очистки скважины от шлама, сокращение времени на промывку перед наращиванием и СПО;
 - уменьшаются динамические скачки давления, снижается вероятность гидроразрыва пород;
 - улучшается качество ствола с минимальной микрокривизной, отсутствие спиральной выработки за счет постоянного контроля положения режущей поверхности долота, что позволяет провести успешное заканчивание;
 - позволяет проводить сложные трехмерные профили с большим отходом.
- К недостаткам можно отнести:
- необходимость использования верхнего привода;
 - высокие требования к очистке бурового раствора, низкому содержанию твердой фазы и материалов для ликвидации поглощений;

- сложность обслуживания на буровой, необходимость привлечения персонала подрядчика;
- внедрение дополнительных датчиков в систему буровой;
- ограничения к расходу бурового раствора и буровым насосам;
- использование специализированных долот.

Роторные управляемые системы (далее – РУС) можно разделить на два основных типа по способу управления смещением долота относительно оси скважины:

1. **«Push the bit»** – радиальное смещение всей компоновки или большей её части относительно оси скважины, что вызывает давление на боковую поверхность долота в определенном направлении. К этому типу можно отнести системы «Автотрак» – Бейкер Хьюз Интек, «Пауэрдрайв» – Шлюмберже, «Веллдириктор» и «Экспрессдрилл» – Нобль Дриллинг.
2. **«Point the bit»** – позиционирование долота. Достигается смещением

приводного вала относительно компоновки либо изменением его кривизны, что вызывает изменение угла атаки вооружения долота. К этому типу можно отнести: «Геопилот» – Сперри-Сан, «АГС» – КДАЛ, «Смартслив» – Ротари Стирабл Тулз, «Андердрилл» и «ДАРТ» – Андергейдж.

РУС первого типа получили наибольшее распространение благодаря относительно простому устройству и надежности. Компании-производители обычно выпускают несколько типоразмеров своей продукции.

Использование РУС позволяет значительно ускорить и улучшить проводку скважины, улучшить состояние ствола и увеличить отход от вертикали в горизонтальных скважинах.

Несмотря на то что роторные управляемые системы в течение ряда лет используются при проводке наклонных, пологих и горизонтальных скважин в России, в открытой печати отсутствуют данные об интенсивности (радиусах) искривления стволов скважин при использовании этих систем. В данной статье приведены расчетные формулы интенсивности искривления для двух типов роторных управляемых систем, даны примеры расчета радиусов для действующих образцов.

РУС С РАДИАЛЬНЫМ СМЕЩЕНИЕМ ДОЛОТА (PUSH THE BIT)

В РУС с радиальным смещением долота «Push the bit» смещение компоновки и искривление ствола достигается за счет выдвигания из корпуса отклоняющих опор [2]. Принципиальная схема расположения данной РУС в искривленном стволе скважины показана на рис 1.

Для точки А:

$$y_A = \frac{L}{2}; x_A = \sqrt{R^2 - 0,25L^2} \quad (1)$$

Для точки В:

$$y_B = 0,5L - l_1; x_B = x_A + h \quad (2)$$

$$y_B^2 + x_B^2 = R^2 = \frac{1}{4}L^2 - L \cdot l_1^2 + x_A^2 + 2x_A h + h^2 = \left(\frac{1}{4}L^2 + x_A^2 = R^2\right) =$$

$$= R^2 - L \cdot l_1 + l_1^2 + 2x_A h + h^2 \Rightarrow$$

$$2x_A h + h^2 - L \cdot l_1 + l_1^2 = 0$$

$$x_A = \frac{L \cdot l_1 - l_1^2 - h^2}{2h}$$

Подставляя полученное значение x_A в (1), получаем

$$y_A^2 + x_A^2 = R^2 = \frac{1}{4}L^2 + \left(\frac{(L - l_1) \cdot l_1 - h^2}{2h}\right)^2 = \frac{1}{4}L^2 + \frac{(L - l_1)^2 l_1^2 + h^4 - (L - l_1)h_1 \cdot h^2}{4h^2} = \frac{1}{4} \left[L^2 + h^2 - 2(L - l_1)L + \frac{(L - l_1)^2 \cdot l_1^2}{h^2} \right]$$

Отсюда выражение для определения радиуса искривления ствола скважины имеет вид

$$R = 0,5 \sqrt{(l_1 + l_2)^2 + h^2 - 2l_2 \cdot l_1 + \frac{l_2^2 \cdot l_1^2}{h^2}} \quad (3)$$

Поскольку первые три слагаемых под корнем много меньше четвертого, оно приводится к

$$R = 0,5 \cdot l_1 \cdot l_2 / h \quad (4)$$

где $h = H - (R_d - R_0) +$

$$+ (R_d - R_u) \cdot l_1 / (l_1 + l_2) \quad (5)$$

Например, для системы Велл Директор, имеющей $D_0 = 244$ мм, $l_1 = 700$ мм, $l_2 = 2500$ мм при $D_d = 295,3$ мм и $D_u = 280$ мм значения радиуса искривления ствола скважины приведены в таблице 1.

Таблица 1

H, мм	30	29	28	27,25	26,75
h, мм	5,75	4,75	3,75	3,0	2,5
R, м	152	184	233	291	350



РУС С ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕМ ДОЛОТА (POINT THE BIT)

В РУС с позиционированием долота типа «Point the bit» искривление ствола скважины достигается за счет смещения приводного вала относительно компоновки, либо изменения его кривизны, вызывающих изменение угла атаки вооружения долота [3].

Схема расположения РУС данного типа в искривленном стволе скважины показана на рис 2.

Из [1] известно, что при таком расположении отклонителя радиус искривления ствола скважины, при условии отсутствия деформации его корпуса, определяется выражением

$$R = \frac{l_1 + l_2}{2 \sin(\gamma - \beta)} \quad (6)$$

где β – угол наклона нижнего плеча отклонителя к оси скважины, его определяют по формуле

$$\beta = \arctg \frac{D_d - D_u}{2l_1} \quad (7)$$

Угол γ между нижним и верхним плечами отклонителя создается за счет изгиба вала отклонителя в его корпусе (рис. 3). Данная схема эквивалентна статически неопределимой балке, у которой один конец заземлен, а другой установлен на шаровой опоре (рис 4).

Угол γ такой балки может быть найден из выражения

$$\gamma = \frac{3\Delta_B \cdot (1 - \beta)^2}{\alpha^3 \beta \cdot l_2} \quad (8)$$

Рисунок 1. Схема размещения РУС в искривленном стволе скважины

1 – долото; 2 – отклоняющая опора; 3 – корпус роторной управляемой системы; 4 – верхний центратор или фиксирующие опоры; 5 – бурильные трубы; H – степень выдвигания башмака из корпуса РУС; D_d – диаметр долота; D_u – диаметр центратора; D_0 – диаметр корпуса РУС.

где $\alpha = \frac{a}{l_1}$; $\beta = \frac{b}{l_2}$

Для системы Геопилот, имеющей $a = b = 2,25$ м, $l_1 = 0,8$ м, $l_2 = 4,5$ м, $D_0 = 244$ мм, значения радиусов искривления ствола скважины при бурении долотом диаметром 295,3 мм и различных прогибах вала приведены в таблице 2.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РОТОРНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НАКЛОННО НАПРАВЛЕННЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН

Технологии горизонтального бурения, все шире применяемые российскими нефтяниками, обеспечивают разрежение сетки эксплуатационных скважин с одновременным увеличением вовлекаемых в разработку запасов, снижение депрессии на пласт, эффективную промышленную разработку запасов, ранее считавшихся неизвлекаемыми, а также повышение эффективности применения методов воздействия на пласт.

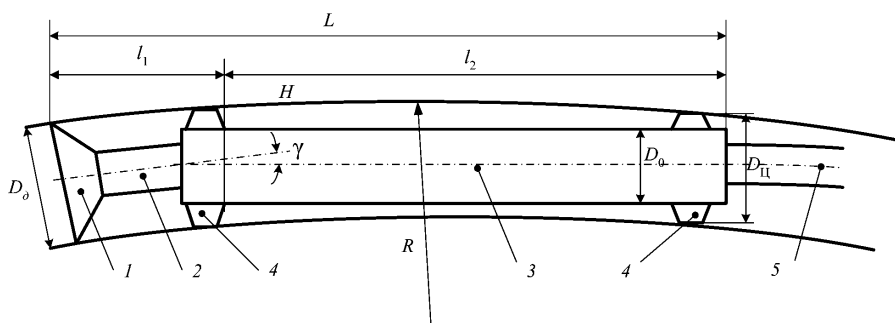


Рисунок 2. Схема размещения РУС в искривленном стволе скважины
 1 – долото; 2 – вал; 3 – корпус роторной управляемой системы; 4 – центраторы или фиксирующие опоры; 5 – бурительные трубы; l_1 – длина нижнего плеча отклонителя; l_2 – длина верхнего плеча отклонителя; γ – угол между осями верхнего и нижнего плеч отклонителя; D_0 – диаметр долота; D_c – диаметр центратора; D_o – диаметр корпуса РУС

В течение последних 5-ти лет объемы строительства горизонтальных скважин в России резко увеличиваются. В настоящее время на смену этапу бурения отдельных горизонтальных скважин приходит системное использование горизонтального бурения, позволяющее максимально реализовывать вышеперечисленные преимущества. Горизонтальные скважины для разра-

ботки морских месторождений оказались еще более эффективными, чем на суше. До 80% капитальных вложений в освоение шельфовых запасов составляют расходы на строительство морских оснований и сооружений. Очевидно, что даже небольшое их сокращение принесёт значительный экономический эффект. Именно это и обеспечивает горизонтальное бурение.



НЕВЬЯНСКИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

www.avega-nmz.ru

МУФТЫ

ДЛЯ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ
ШТАНГОВЫЕ ПЕРЕВОДНЫЕ



ПЕРЕВОДНИКИ

ДЛЯ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ



ЗАМКИ

ИЗНОСОСТОЙКИЕ ЗАМКОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ



624190, Россия, г. Невьянск, Октябрьский проспект, 2.
Тел./факс: (34356)21338 e-mail: tk_nmz@hotmail.ru



(34356) 24914

Одним из перспективных направлений развития технологии горизонтального бурения является строительство скважин с большим отходом, которые позволяют, в частности, разбуривать шельфовые месторождения нефти газа с берега, без строительства дорогостоящих морских оснований и платформ. Данный метод высокоэффективен и при разработке месторождений, расположенных на природоохраненных территориях. При проектировании таких скважин применяется трехинтервальный профиль, включающий вертикальный интервал, участок увеличения зенитного угла и интервал стабилизации зенитного угла и азимута. Бурение таких скважин требует наличия целого ряда технических и технологических средств, среди которых: верхний привод буровой установки; системы измерения в процессе бурения; алмазное и поликристаллическое вооружение долота; винтовые забойные двигатели и турбобуры с долговечностью 150-300 часов; буровые растворы с высокими смазывающими свойствами. Некоторые скважины могут быть пробурены только с использованием роторных управляемых систем. Недостатки управляемых систем бурения с гидравлическими забойными

двигателями могут быть значительно сокращены при применении управляемых систем роторного бурения, в которых долото движется по заданной траектории при непрерывном вращении буровой колонны.

Роторные управляемые системы используют механизмы автоматической ориентации и управляют траекторией скважины путем приложения бокового усилия к долоту либо изменения положения долота.

Полностью автоматизированные системы были впервые применены на очень дорогостоящих скважинах с большим отклонением забоя от устья, на которых они обеспечили возможность решения задач, недоступных для существующих систем с забойными двигателями.

Не отрицая важность и полезность, а также успехи в области технологии управляемого бурения, следует отметить, что в настоящее время и в обозримом будущем при строительстве подавляющего числа наклонных и горизонтальных скважин в нашей стране будет использоваться традиционная технология направленного бурения.

В соответствии с существующей технологией проводку горизонтального интервала ствола скважины непосред-

ственно в продуктивном пласте производят жестко по профилю, рассчитанному до начала бурения. Причем планирование горизонтального ствола осуществляют на основе геологических и геофизических материалов, которые были ранее получены при бурении вертикальных или наклонных скважин. Разработанные на основе такой информации геологические разрезы и структурные карты не соответствуют в части точности глубин и углов падения пластов требованиям технологии горизонтального бурения. Поэтому в проект на бурение горизонтальной скважины зачастую вносятся параметры продуктивного пласта, не соответствующие его состоянию в интервале бурения.

Существенное повышение эффективности строительства горизонтальных и боковых стволов может быть достигнуто за счет оперативного планирования траектории в процессе бурения на основании фактического геологического разреза. Для реализации такой технологии необходим буровой комплекс, способный автономно или при минимальном вмешательстве оператора осуществлять бурение горизонтального ствола в продуктивном пласте, обходя при этом зоны обводненности и зоны, не содержащие нефть или газ.

Разрабатываемые в настоящее время управляемые системы роторного бурения могут в автономном режиме осуществлять только целенаправленное изменение зенитного и азимутального углов или производить их стабилизацию при бурении по команде с поверхности.

Существующие схемы управления не позволяют осуществлять полностью автономное бурение без участия оператора по всему стволу скважины, поэтому основным направлением в разработке систем следующего поколения будет полная автоматизация работы забойной компоновки.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Г. Калинин, Н.А. Григорян, Б.З. Султанов. Бурение наклонных скважин. Справочник. М. Недра, 1990.
2. "The Autotrak System. Rotary Closed-Loop Drilling System." Baker Hughes Incorporated INT, 01-1716A4 08-01 2M, 2001.
3. "Geo-Pilot™ Rotary Steerable System: Steering the Wellbore While Rotating the Drillstring" Halliburton Energy Services, Inc., H02157B 10/99, 1999.

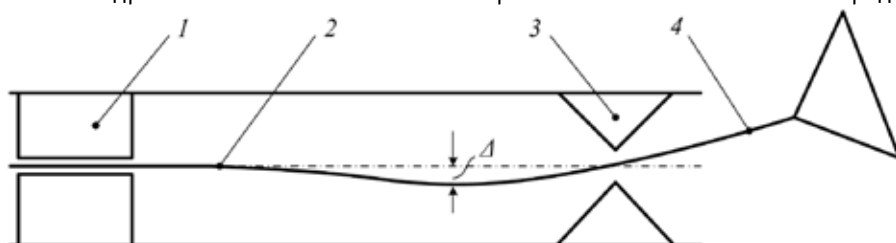


Рисунок 3. Принципиальная схема РУС с позиционированием долота

1 – цилиндрический подшипник; 2 – вращающийся вал РУС; Δ – смещение оси вала от оси корпуса РУС; 3 – шаровый подшипник; 4 – наддолотная часть вала

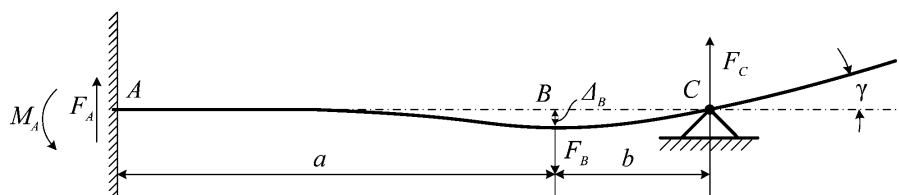


Рисунок 4. Схема статически неопределимой балки, эквивалентной схеме РУС с позиционированием долота

Таблица 2

Диаметр центриатора, мм	244			280			
Прогиб вала Δ , см	4	5	6	2	3	4	5
Угол γ , град.	1,75	2,18	2,62	0,87	1,31	1,75	2,18
R_{γ} , м	-	438	194	475	200	126	93