



УДК 550.822

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ СКВАЖИН И МЕХАНИЗМОВ ИСКРИВЛЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В РОТОРНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМАХ



ANALYSIS OF WELL DRILLING TECHNOLOGY AND CURVATURE MECHANISMS USED IN ROTARY CONTROLLED SYSTEMS

Иванова Татьяна Николаевна

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры бурения нефтяных
и газовых скважин,
Удмуртский государственный университет

Доможиров Александр Вадимович

магистрант кафедры бурения нефтяных
и газовых скважин,
Удмуртский государственный университет
rsg078829@mail.ru

Аннотация. Бурение горизонтальных скважин является одним из перспективных методов интенсификации добычи нефти и газа, что позволяет увеличить площадь фильтрации пластового флюида за счет длины. Достичь успеха в этой области можно лишь применяя самые передовые технологии бурения. Применение роторных управляемых систем (РУС) позволяет бурить пологие и горизонтальные скважины с плавным профилем большей протяженностью. Даны рекомендации по выбору роторных управляемых систем для различных задач на основании типа реализуемого механизма искривления.

Ключевые слова: роторные управляемые системы, искривление, ствол скважины, протяженность, долото.

Ivanova Tatyana Nikolaevna

Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor,
Professor of the Department of Oil
and gas drilling,
Udmurt state University

Domozhirov Alexander Vadimovich

Master's Degree in oil and gas drilling,
Udmurt state University
rsg078829@mail.ru

Annotation. Drilling horizontal wells is one of the most promising methods for intensifying oil and gas production, which allows increasing the filtration area of the reservoir fluid due to the length. Success in this area can only be achieved by using the most advanced drilling technologies. The use of rotary controlled systems (ROS) allows you to drill flat and horizontal wells with a smooth passage of greater length. Recommendations are given for selecting rotary control systems for various tasks based on the type of curvature mechanism being implemented.

Keywords: rotary steerable system, the curvature of the wellbore, the length of the chisel.

Наибольшее распространение при наклонно-направленном бурении получили системы с управляемым двигателем и роторные управляемые системы. Критерии выбора систем бурения, следующие: механическая скорость проходки, реализация искривления в соответствии с проектом, качество ствола скважины, эффективная длина горизонтальной секции, безаварийность проходки, стоимость оборудования. Следует отметить, что роторные управляемые системы (РУС) (рис. 1) по сравнению с забойным двигателем позволяют:

- увеличить механическую скорость бурения на 20–30 %,
- при увеличении темпа набора кривизны обеспечивают существенную экономию времени бурения;
- за счет качественного пробуривания ствола, все колонны заканчивания спускаются без происшествий;
- глубже проникают в объект, что повышает дебиты добычи.

Роторные управляемые системы подразделяются по типу реализуемого механизма искривления на три группы: механизм асимметричного разрушения забоя вследствие перекаса долота, механизм фрезерования стенки и механизм совместного фрезерования и перекаса долота (гибридные) [1–5].

РУС, реализующая механизм фрезерования стенки «Push the bit», предполагает набор кривизны фрезерованием стенки скважины под действием отклоняющего усилия (рис. 1). В системе с отклонением долота отклоняющая сила на долоте Рот появляется в результате выдвижения лопаток 2, осуществляющих давление на стенку скважины с усилием P_p . Привод лопаток 2 гидравлический, осуществляемый за счет последовательной подачи бурового раствора в соответствующие гидрокамеры. Для увеличения угла отклонения каждая лопатка 2, проворачиваясь и находясь в нижней части ствола, нажимает на нижнюю сторону ствола, а для уменьшения угла каждая лопатка 2 нажимает на верхнюю часть ствола, направляя долото 1 в требуемом направлении. Долото 1 обеспечивает отклонение ствола фрезерованием стенки скважины боковым вооружением.



Рисунок 1 – Роторная управляемая система перед спуском в скважину

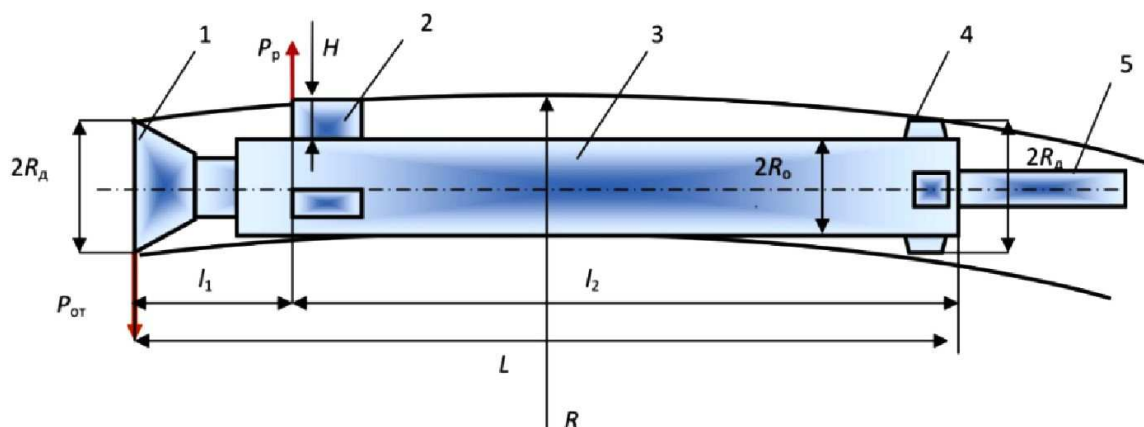


Рисунок 1 – РУС с радиальным смещением долота:
1 – долото, 2 – лопатки, 3 – корпус, 4 – верхний стабилизатор, 5 – труба

Радиус кривизны ствола скважины, реализуемый РУС с радиальным смещением долота, из условия вписываемости отклонителя в искривленный ствол скважины без деформирования корпуса можно определить из формулы

$$R = \frac{l_1 l_2}{2 \left[H - (R_d - R_o) + \frac{l_1 (R_d - R_{ц})}{L} \right]}, \tag{1}$$

где R_d – радиус долота, H – выход лопатки из корпуса, $R_{ц}$ – радиус стабилизатора.

Выражение (1) позволяет определить минимальные значения радиуса кривизны и интенсивности искривления ствола. Например, для РУС $R_d = 147,65$ мм, $R_o = 122$ мм, $R_{ц} = 140$ мм, $l_1 = 0,7$ м, $l_2 = 2,5$ м при выдвигении лопатки на расстояние $H = 26,75 \dots 30$ мм позволяют определить значения радиусов кривизны, которые будут изменяться от 152 до 350 м.

Отклоняющая сила, действующая в направлении фрезерования РУС, будет зависеть от размеров и давления промывочной жидкости в дроссельно-циркуляционной системе отклонителя и определяется

$$P_{от} = \frac{P_p l_2}{2L} = \frac{\rho_{ж} S_{п} L_2}{2L}, \tag{2}$$

где $\rho_{ж}$ – давление промывочной жидкости в гидрокамере над выдвигимым башмаком, МПа; $S_{п}$ – площадь выдвигимой лопатки со стороны гидрокамеры, м²; L – длина РУС, м; l_2 – расстояние от выдвигимой лопатки до стабилизатора отклонителя.



В РУС, реализующих механизм перекоса долота (point the bit), используют внутренний изгиб вала отклонителя для изменения направления скважины (рис. 2). В такой системе точка изгиба вала находится внутри корпуса над долотом. Ориентация изгиба вала контролируется с помощью серводвигателя, который в обратном направлении вращается с той же скоростью, что буровая колонна. Это позволяет сохранить геостационарную ориентацию торца бурового инструмента при вращении колонны.

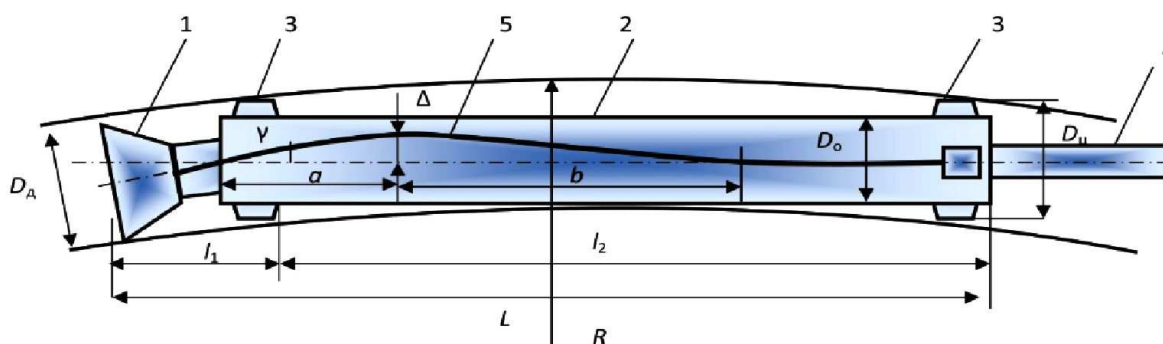


Рисунок 2 – РУС с изменением направления перекоса долота:
1 – долото, 2 – корпус, 3 – стабилизатор, 4 – труба, 5 – вал отклонителя

Радиус искривления скважины, РУС с изменением перекоса долота, при отсутствии деформации корпуса, определяется выражением:

$$R = \frac{L}{2 \sin \left(\left(\frac{3\Delta \left(1 - \frac{b}{l_2} \right)^2}{\left[\frac{a}{l_2} \right]^3 b} \right)^{1/2} - \left(\arctg \frac{D_Д - D_Ц}{2l_1} \right) \right)}, \tag{3}$$

где $D_Д$ – диаметр долота, $D_Ц$ – диаметр стабилизатора, D_0 – диаметр корпуса.

Для системы Geopilot, имеющей следующие параметры: $a = b = 2,25$ м; $l_1 = 0,8$ м; $l_2 = 4,5$ м; $D_0 = 244$ мм, значения радиусов искривления при бурении долотом диаметром 295,3 мм и различных прогибах вала отклонителя приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Расчетные данные радиуса искривления РУС Geopilot

Диаметр центратора $D_Ц$, мм	244		280			
Прогиб вала Δ , мм	5	6	2	3	4	5
Угол перекоса	2,18	2,62	0,87	1,31	1,75	2,18
Радиус искривления R , мм	438	194	475	200	126	93

На механизме искривления основанного на асимметричном разрушении забоя, вследствие перекоса породоразрушающего инструмента основаны роторные управляемые системы типа «Point the bit». Интенсивность искривления скважины задается конструктивными размерами РУС и диаметром скважины, отклоняющая сила на породоразрушающем инструменте отсутствует. Такие РУС менее нагружены и деформированы, конструктивно более простые, в работе надежны, отличаются возможностью прогнозировать интенсивность искривления с высокой точностью. Процесс искривления ствола скважины вследствие асимметричного разрушения забоя при отсутствии отклоняющей силы на долоте имеет следующие положительные стороны:

1. Улучшение условий работы опор и вооружения долот, повышение их стойкости и снижение темпа износа калибрующего вооружения долота в результате отсутствия действия поперечной отклоняющей силы.
2. Лучшее использование энергетических параметров забойных двигателей, за счет максимальной передачи развиваемых ими мощности и вращающего момента для разрушения горных пород на забое.
3. Возможность бурения при повышенных осевых нагрузках на долото, что позволяет повысить скорость бурения.



4. Имеется возможность искривления скважины с высокой скоростью бурения, так как интенсивность искривления в данном случае не зависит от скорости фрезерования, механической скорости бурения и параметров режима бурения.

Однако процесс искривления только под действием неравномерного разрушения забоя имеет такой недостаток как ограниченная интенсивность искривления ствола, что увеличивает интервал бурения и объем работ с отклоняющей КНБК.

На механизме искривления реализуемого за счет фрезерования стенки скважины основана роторная управляемая системы типа «Push the bit». Преимуществом искривления скважины вследствие фрезерования стенки ствола скважины состоит в значительном увеличении интенсивности искривления скважин, что позволяет сократить интервал бурения и объем работ с отклоняющими КНБК. В то же время, процесс набора кривизны фрезерованием существенно ограничивается величиной скорости бурения. Так, например, высокая скорость бурения приведет к ограничению или даже полному устранению процесса искривления ствола скважины. Оптимальной скоростью бурения, при которой реализуется эффективное искривление, за счет фрезерования стенки скважины является скорость 0,8 – 1,0 м/ч. Соотношения скорости фрезерования стенки скважины под действием отклоняющего усилия и углубления забоя в процессе набора кривизны фрезерованием с интенсивностью 0,5; 1,0; 1,5 и 2^о на 10 м проходки составят соответственно 0,0044; 0,0087; 0,0131 и 0,0174. Эти соотношения скоростей фрезерования и углубления забоя независимо от величин отклоняющей силы и осевой нагрузки на долото и др. факторов являются предельными. Располагая значением скорости бурения в процессе искривления скважины можно рассчитать предельное значение скорости фрезерования стенки скважины. Это будет характерно для операций забурирования нового ствола, исправление уже искривленного ствола.

Для любой отклоняющей компоновки, реализующей совместное фрезерование и асимметричное разрушение забоя, 83 % от возможного приращения искривления ствола может быть достигнуто вследствие фрезерования стенки скважины и 17 % – вследствие неравномерного асимметричного разрушения забоя. Если в процессе бурения отклонитель будет упруго деформирован, то доля искривления ствола скважины в результате неравномерного разрушения забоя уменьшится и при определенном значении станет равной нулю, а доля искривления за счет фрезерования стенки ствола, наоборот, увеличится и достигнет 100 %. При дальнейшем повышении прогиба отклонителя будет иметь место перекос долота в обратную, от направления действия отклоняющего усилия, сторону, что приведет к снижению интенсивности набора кривизны. Отклоняющая сила возрастает при увеличении жесткости бурильных труб, устанавливаемых над кривым переходником и забойным гидродвигателем, при использовании кривых переводников с большими углами перекоса осей резьбовых соединений.

Исходя из полученных данных, можно сделать рекомендации по выбору роторной управляемой системы:

– Для забурирования дополнительных стволов с искусственных забоев целесообразно применить роторную управляемую систему, реализующую механизм фрезерования стенки, в силу высокой интенсивности набора кривизны, осуществляемого данным механизмом. Например, система Power Drive Xtra компании Schlumberger.

– При переходе из вертикального участка скважины в горизонтальный, или при переходе из наклонного ствола в горизонтальный существует необходимость осуществить значительный набор кривизны в пределах определенного, локального участка скважины. Для решения этой задачи оптимальным выбором является роторная управляемая система реализующая механизм набора кривизны за счет фрезерования стенки, так как такая система позволяет осуществить набор кривизны с высокой интенсивностью. Например, система Auto Trak компании BakerHughes.

– Если стоит задача плавного и контролируемого набора кривизны, то наилучшим выбором станет система реализующая механизм асимметричного разрушения горной породы вследствие перекоса долота. Системы реализующие перекос долота являются более контролируруемыми, так как отсутствует зависимость от скорости фрезерования и механической скорости бурения. Например, система Geo-Pilot от компании Sperry-Sun.

– При проводке горизонтального участка скважины необходима точность, скорость и контролируемость бурения. Роторные управляемые системы, реализующие механизм асимметричного разрушения горной породы вследствие перекоса долота являются оптимальным выбором в данной ситуации. Это позволяют системы EZ-Pilot компании Sperry-Sun, инновационная система Revolution компании Weatherford.

– Технологии направленного бурения применяются не только для осуществления набора кривизны или для бурения горизонтальных скважин, но и для бурения вертикальных стволов. Так роторные управляемые системы активно применяются для поддержания вертикальности ствола в процессе бурения. Примером такой роторной управляемой системы является системы Power Drive Xseed и Power V компании Schlumberger.



Литература

1. Официальный сайт компании «Weatherford». – URL : www.weatherford.ru
2. Официальный сайт компании «Schlumberger». – URL : www.slb.ru
3. Официальный сайт компании «Halliburton». – URL : www.halliburton.ru
4. Официальный сайт компании «BakerHughes». – URL : www.bakerhughes.com
5. Акбулатов Т.О. Роторные управляемые системы : учебное пособие / Т.О. Акбулатов, Р.А. Хасанов, Л.М. Левинсон. – Уфа : УГНТУ, 2006.

References

1. Official website Weatherford's. – URL : www.weatherford.ru
2. Official website of Schlumberger. – URL : www.slb.ru
3. Official website of Halliburton. – URL : www.halliburton.ru
4. Official website of BakerHughes. – URL : www.bakerhughes.com
5. Akbulatov T.O. Rotary controlled systems : a textbook / T.O. Akbulatov, R.A. Hasanov, L.M. Levinson. – Ufa : USTU, 2006.