



УДК 622.24

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ ПОТЕРЬ ОТ НЕСТАБИЛЬНОЙ РАБОТЫ ВИНТОВОГО МОТОРА В СОСТАВЕ МОТОРИЗОВАННОЙ РОТОРНОЙ УПРАВЛЯЕМОЙ СИСТЕМЫ

ESTIMATION OF POSSIBLE LOSSES FROM UNSTABLE OPERATION OF A SCREW MOTOR IN A MOTORIZED ROTARY STEERABLE SYSTEM

Симонянц Сергей Липаритович

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

Гуринович Алёна Владимировна

аспирант
кафедры бурения нефтяных и газовых скважин,
Российский государственный университет нефти и газа
имени И.М. Губкина
for_alena@yahoo.com

Аннотация. В статье рассматриваются технологические риски при бурении скважин, связанные с применением моторизованной роторной управляемой системы с интегрированным в компоновку винтовым забойным двигателем. Основным источником опасности возникновения аварийного инцидента выступает ВЗД, как наименее динамически устойчивый механизм в составе КНБК. Описываются источники опасностей, варианты неблагоприятных событий и их последствия. Основное внимание уделено оценке возможных потерь и стоимости восстановления работоспособности буровой системы. Для расчетов используются статистические данные.

Ключевые слова: моторизованное роторное бурение, роторная управляемая система, винтовой забойный двигатель, технологический риск.

Simonyants Sergey Liparitovich

Doctor of Technical Science,
Professor of Drilling Oil and
Gas Wells Department,
National University of Oil and Gas
«Gubkin University»
ssturbo@mail.ru

Gurinovich Alena Vladimirovna

Postgraduate Student,
Drilling Oil and Gas Wells Department,
National University of Oil and Gas
«Gubkin University»
for_alena@yahoo.com

Annotation. The article deals with the technological risks associated with the use of a motorized rotary controlled system with a screw downhole motor integrated into the layout. The main source of the risk of an emergency incident is the downhole motor as the least dynamically stable mechanism in the drilling column layout. The sources of hazards, variants of adverse events and their consequences are described. The main attention is paid to the assessment of possible losses and the cost of restoring the working capacity of the drilling system. Statistical data is used for calculations.

Keywords: motorized rotary drilling, rotary steerable system, screw downhole motor, technological risk.

Применение моторизованной роторной управляемой системы (РУС) с интегрированным в компоновку винтовым забойным двигателем (ВЗД) позволяет существенно повысить частоту вращения долота и за счет этого значительно увеличить механическую скорость проходки. Однако, наличие такого динамически неустойчивого механизма, как ВЗД, уступающего по надежности другим элементам компоновки низа буровой колонны (КНБК), увеличивает риск возникновения аварийного инцидента во время бурения [1, 2]. В связи с этим, представляет интерес проведение анализа технологического риска применения моторизованной РУС при бурении скважины. В настоящей работе основное внимание уделено оценке возможных потерь от нестабильной работы ВЗД в составе моторизованной РУС.

Анализ риска позволяет определить вероятность и неблагоприятные последствия работы буровой технологической системы [3, 4]. Основные этапы такого анализа включают:

- Определение области применения (описание проблемы).
- Идентификация опасности (что может выйти из строя).
- Анализ частот (с какой вероятностью это может произойти).
- Анализ последствий (каковы неблагоприятные последствия).
- Оценка возможных потерь (расчет риска).

Определение области применения

Система моторизованного роторного бурения представляет собой компоновку низа буровой колонны, состоящую из бурового долота, РУС, ВЗД, телеметрической измерительной системы MWD, утяжелённых и буровых труб [1]. Винтовой забойный двигатель является гидромотором ограничен-



ной мощности и в этом смысле может считаться «слабым звеном» КНБК. При увеличении крутящего момента частота вращения ВЗД незначительно снижается, затем наступает зона неустойчивой работы, часто сопровождаемая усиленными вибрациями, и забойный двигатель резко останавливается. Крутящий момент увеличивается пропорционально росту момента сопротивления на долоте при повышении осевой нагрузки, переходе на бурение более моментоемких горных пород или из-за износа долота. Негативное влияние на работу ВЗД оказывают и низкочастотные колебания бурильной колонны. Указанные факторы приводят к тому, что зона устойчивой работы винтового забойного двигателя при бурении скважины ограничивается величиной крутящего момента на режиме максимальной мощности. При чрезмерном увеличении осевой нагрузки, вхождении долота в пропласток более моментоемких пород или при заклинке долота от разных причин возможна внезапная остановка ВЗД. При этом резко возрастает дифференциальный перепад давления на винтовом двигателе.

Резкие остановки (отказы) винтового двигателя могут иметь весьма отрицательные последствия, т.к. это вызывает значительный рост давления в бурильных трубах и на выходе бурового насоса. Чтобы снизить эти отрицательные последствия, над винтовым двигателем обязательно устанавливается специальный переливной клапан, стравливающий часть промывочной жидкости в затрубное пространство. Кроме того, когда буровой раствор под большим перепадом давления протекает через зазоры в рабочем органе ВЗД, это может вызывать его интенсивный износ.

Незапланированная внезапная остановка (отказ) ВЗД, сопровождающаяся резким повышением давления в бурильных трубах, может привести к превышению допустимого значения на буровом насосе. Чтобы этого не произошло, необходимо немедленно выключить насос и приподнять бурильный инструмент от забоя. Если при этом не произошла поломка насоса, долота или ВЗД, то после нового включения насоса производится перезапуск ВЗД, приработка забоя и выход на рабочий режим. Вся процедура может занять время от 5 до 20 мин.

Остановка процесса бурения и циркуляции бурового раствора с оставлением бурильной колонны (БК) в неподвижном состоянии на срок более 3 мин. может привести к прихвату бурильного инструмента, одному из наиболее тяжелых видов аварий в бурении скважин.

Поломки или отвороты отдельных частей винтового забойного двигателя при его работе в скважине также являются нередкими аварийными инцидентами. Поломка выходного вала ВЗД может произойти из-за высоких знакопеременных динамических напряжений, возникающих при несбалансированном вращении длинной подвески, состоящей из РУС и долота. В результате отломанный конец вала, РУС и долото могут остаться на забое, что потребует проведения дорогостоящих противоаварийных ловильных работ с риском потери оборудования и части ствола скважины.

Идентификация опасности

Перечень нежелательных событий, которые могут произойти при работе винтового забойного двигателя в скважине [2]:

- Незапланированная внезапная остановка ВЗД.
- Поломка элемента ВЗД.
- Отворот части ВЗД.

Анализ частот

Анализ частот используется для оценки вероятности каждого нежелательного события, определённого на стадии идентификации опасности. Для оценки частот происходящих событий обычно применяются следующие подходы [4]:

- использование имеющихся статистических данных (предыстория);
- получение частот происходящих событий на основе аналитических или имитационных методов;
- использование мнений экспертов.

Анализ последствий

Анализ последствий [4] должен:

- основываться на выбранных нежелательных событиях;
- описывать любые последствия, являющиеся результатом нежелательных событий;
- учитывать существующие меры, направленные на смягчение последствий, наряду со всеми соответствующими условиями, оказывающими влияние на последствия;
- устанавливать критерии, используемые для полной идентификации последствий;
- рассматривать и учитывать, как немедленные последствия, так и те, которые могут проявиться по прошествии определенного периода времени, если это не противоречит сфере распространения исследований;
- рассматривать и учитывать вторичные последствия, распространяющиеся на смежное оборудование и системы.



Последствия нежелательных событий могут проявляться в потерях производительного времени бурения интервала скважины, которое имеет свою стоимость:

$$Z_r = T_{вст} (R + R_{рус} + R_{взд}), \tag{1}$$

где Z_r – стоимость потерянного времени, руб; $T_{вст}$ – общее время восстановления работоспособности системы, ч; R – стоимость часа работы буровой установки (БУ), руб / ч; $R_{рус}$ – стоимость часа работы РУС, руб / ч; $R_{взд}$ – стоимость часа работы ВЗД, руб / ч.

Кроме того, могут быть и другие затраты в зависимости от способа восстановления работоспособности системы. Простой перезапуск ВЗД не потребует дополнительных вложений, однако извлечение из скважины и замена забойного двигателя на новый могут быть оценены как лишняя спуско-подъёмная операция и незапланированный ремонт ВЗД, что же касается затрат на ликвидацию такой серьёзной аварии, как прихват бурильного инструмента, то её стоимость сложно предсказать.

Оценка потерь

Выполним оценку возможных потерь от нестабильной работы ВЗД в составе моторизованной РУС на примере бурения идентичных интервалов. Для расчетов были использованы статистические данные по бурению скважин на одном из нефтяных месторождений. Согласно этим данным, общее число случаев применения ВЗД с РУС составило 39, а общее время механического бурения 1869 ч. В таблице 1 приведены исходные данные и результаты расчёта стоимости восстановления работоспособности буровой системы моторизованного роторного бурения, состоящей из РУС и ВЗД, которая приводится во вращение верхним силовым приводом буровой установки. Частота нежелательных событий рассчитывалась как отношение числа таких событий к общему числу случаев применения ВЗД с РУС. Стоимости часа работы БУ, РУС и ВЗД были определены из суточных ставок аренды указанного оборудования.

Таблица 1 – Расчет стоимости восстановления работоспособности буровой системы

Нежелательное событие	Число событий	Частота событий	Способ восстановления	Среднее время восстановления, ч	Общее время восстановления, ч	Стоимость времени восстановления, р.	Стоимость доп. операций, р.	Стоимость восстановления, р.
Остановка	48	1,231	Перезапуск	0,3	14,4	1 461 600	–	1 461 600
Прихват	1	0,026	Ликвидация прихвата	57	57	5 785 500	1 200 000	6 985 500
Поломка	1	0,026	Извлечение и замена ВЗД	24	24	2 436 000	300 000	2 736 000
Отворот	1	0,026	Извлечение и замена ВЗД	24	24	2 436 000	300 000	2 736 000
Всего						12 119 100	1 800 000	13 919 100

Примечания:

Суточная ставка работы БУ = 1 171 200 р./сут
 Суточная ставка работы РУС = 1 056 000 р./сут
 Суточная ставка работы ВЗД = 208 800 р./сут.

Анализ показал, что за время мехбурения выбранных интервалов скважин наблюдались нежелательные события, приведшие к нарушениям работоспособности буровой системы и потере производительного времени, в т.ч. остановки ВЗД, потребовавшие его перезапуска, поломки и отвороты, потребовавшие извлечения забойного двигателя из скважины и его замены, а также один прихват бурильного инструмента, потребовавший проведения противоаварийных работ. Кроме времени, затраченного на восстановление работоспособности буровой системы, имели место и финансовые затраты, связанные с проведением дополнительных операций: заменой и ремонтом ВЗД и ликвидацией прихвата. Все указанные потери были учтены при выполнении расчетов. В результате получено, что стоимость восстановления работоспособности системы составила 13 919 100 руб. По сравнению со стоимостью бурения указанного объёма, равной 189 703 500 руб., это составляет 7,3 %. Если исключить из расчета прихват БК, который можно рассматривать как весьма случайное событие, то стоимость восстановления снижается до 6 933 600 руб., или 3,6 %.



Стоимость восстановления работоспособности буровой системы можно рассматривать как возможный ущерб при оценке технологического риска. Её величину также можно учитывать при расчёте проектной стоимости строительства скважины на аналогичном месторождении с использованием моторизованной роторной системы.

Литература:

1. Симонянц С.Л., Аль Тии М. Применение моторизованного роторного бурения для увеличения скорости углубления скважины // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и море. – 2020. – № 8. – С. 26–29.
2. Симонянц С.Л., Гуринович А.В. Влияние стабильности работы забойного двигателя на показатели бурения // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. – 2020. – № 3. – С. 45–48.
3. ГОСТ Р 51901.1-2002 Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем.
4. Балаба В.И. Безопасность технологических процессов бурения скважин: учебное пособие. – М. : РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2007. – 296 с.

References:

1. Simonyants S.L., Al Tii M. Application of motorized rotary drilling to increase the rate of well deepening // Construction of Oil and Gas Wells on Land and Sea. – 2020. – № 8. – P. 26–29.
2. Simonyants S.L., Gurinovich A.V. Influence of downhole motor stability on drilling performance // Bulletin of the Association of Drilling Contractors. – 2020. – № 3. – P. 45–48.
3. GOST R 51901.1-2002 Risk Management. Risk analysis of technological systems.
4. Balaba V.I. Safety of technological processes of well drilling: textbook. – M. : Gubkin Russian State University of Oil and Gas. – 2007. – 296 p.