

УДК 622.24.053

Н. А. Дудля, канд. техн. наук¹; Г. Н. Викторов², Г. Н. Кириченко².

¹ *Национальный горный университет, г. Днепропетровск, Украина;*

² *Днепропетровское отделение УкрГГР, г. Днепропетровск, Украина*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ

Одним из наиболее важных элементов бурового инструмента является бурильная колонна. Самые крупные статьи расходов в общей стоимости бурения падают именно, на бурильную колонну. В процессе бурения скважины она подвергается усилиям растяжения, сжатия, кручения, а также вибрациям, искривлению, абразивному износу и коррозии.

Как вал бурильная колонна представляет собой сложную механическую систему, работающую, в основном, в устойчивом режиме, характеризующимся почти постоянным во времени уровнем мощности, который повышается при той же частоте вращения при возникновении колебаний, обусловлены наличием сил упругости и сил сопротивления, представлены, в основном, силами трения колонны о стенки скважины. А так как ствол скважины имеет переменное по своей длине и во времени сечение сложной конфигурации, сужающееся к забою и расширяющееся к устью, то ствол скважины и определяет характер движения колонны. Наибольшая разработка ствола скважины наблюдается в момент прохождения через него зоны нулевого сечения. Переменный изгибающий момент, возникающий при работе колонны в искривленных участках ствола скважины от продольного изгиба при сжатии и под действием центробежных сил, действующих циклически на резьбовые соединения, приводит к их разрушению.

Анализ аварий с бурильными трубами по производственному объединению «Укрнефть» [3, 4] показывает, что из общего количества 406 аварий, обусловленных разрушением, 23 % произошли по трубной резьбе, 31 % – по замковым резьбам соединений утяжеленных бурильных труб (УБТ), 4,5 % по ниппельной части бурильных замков. В геологоразведочных организациях Украины [9] из 250 поломок обрывы резьб бурильных труб и замков составляют более 33 %, 45 % составляют обрывы по высаженной части, по телу труб, по сварному шву [6]. На основе обобщения и анализа фактических данных за 10 лет работы бурильной колонны в Восточном Донбассе при объеме бурения 139,4 тыс. м произошло 8,7 поломок на 1000 м бурения [6].

По данным Днепропетровского отделения Института минеральных ресурсов [1] при исследовании 37 бурильных колонн на глубоких (1400 – 1600 м) скважинах в Донбассе произошло 292 аварии. Из них с бурильными трубами – 140, замками – 91, муфтами – 7, УБТ – 53. Анализ показывает, что 90 % всех аварий с колонной происходит в местах резьбовых соединений, причем 62 % составляют аварии с резьбами труб и 28 % с резьбами замков.

Изучение изломов деталей бурильной колонны путем визуального осмотра показало, что, несмотря на разнообразие форм разрушений, существует некоторая закономерность в строении изломов. Так, обрывы труб по последней нитке резьбы в большинстве случаев имеют неодинаковую шероховатость поверхности излома. Как правило, поверхность излома имеет несколько зон с различной шероховатостью – от мелкой, почти полированной, до неровностей в виде ступенек. Такое строение излома указывает на неодновременность протекания процесса разрушения. Размеры шероховатостей на поверхности излома зависят от структуры металла (величины зерен), вида и разрушающих нагрузок. Наличие макро- и микро неровностей свидетельствует о типичном усталостном разрушении труб. Усталостная трещина предшествует возникновению первоначальных трещин в наиболее напряженном месте (концентратор напряжения), которые затем сливаются в одну или несколько основных усталостных трещин. Концентратором напряжений в бурильных трубах и замках служат

впадины резьбы. По мере развития усталостной трещины поперечное сечение трубы, замка уменьшается и наконец оказывается недостаточным для восприятия действующих нагрузок, в результате чего труба, замок разрушаются. В процессе развития усталостной трещины происходит ее многократное раскрытие и закрывание, вследствие чего поверхность излома истирается. Это объясняет наличие полированной зоны на поверхности усталостного излома от напряжений кругового изгиба. Некоторые изломы труб имеют на поверхности две противоположно расположенные зоны. Кроме типично-усталостных изломов, встречаются коррозионно-усталостные изломы, образующиеся от одновременного действия многократных нагрузок и среды, вызывающей коррозию металла. Коррозионно-усталостные трещины в отличие от усталостных распространяются в разных направлениях. Продукты коррозии, отлагаясь в микротрещинах, вызывают их расклинивание и тем самым ускоряют процесс разрушения. Наличие в скважине воды или глинистого раствора, в которых растворены соли, способствует быстрому развитию коррозии. При визуальном осмотре поверхности излома видны глубокие повреждения ее коррозией.

Срыв резьбы является наиболее распространенным видом аварий с бурильной колонной и происходит как у трубных, так и в замковых соединениях в разных местах по длине резьбы. Причиной, вызывающей разрушение резьбовых соединений, является износ резьбы и, следовательно, уменьшение рабочей поверхности ниток [4]. При чрезмерных нагрузках происходит разрушение всей резьбы.

Нами установлено, что на срыв резьбы влияют и другие причины: качество изготовления резьб, момент затяжки при свинчивании, условия эксплуатации [5, 8].

При изготовлении резьб заводы допускают отклонения от допусков по ГОСТу по конусности, натягу, углу профиля и др., что приводит к поломкам труб, так как при соединении двух деталей с отклонениями по конусности или натягу происходит неравномерное распределение нагрузок по виткам резьбы. Напряжения в нескольких витках резьбы, воспринимающие основную часть нагрузки, могут достигать предела текучести металла, в результате чего происходит срыв этих витков. При соединении двух деталей с большими минусовыми отклонениями допуска по натягу, при их свинчивании, происходит соприкосновение торцов трубы в муфте или соприкосновение торца трубы с выступом в замке, что также приводит к срыву резьбы при приложении нагрузки. Часто срывы резьбы происходят при сборке из-за отсутствия или некачественной смазки, повреждения резьб, присутствия в резьбе шлама, стружки, несоосности элементов колонны, недостаточного усилия затяжки, некачественной термообработки.

Заедание замковых резьб сводится к тому, что в процессе свинчивания механизмом РТ-1200 из-за перекоса свечи происходит срыв и сваривание металла резьб. Как правило заедание резьб происходит с новыми замковыми соединениями в процессе первых 10–30 свинчиваний и связано, в основном, с малой твердостью поверхностей витков резьбы. Само по себе явление заедания замковых резьб не приводит к возникновению аварий с бурильной колонной. Однако частая замена замков, вышедших из строя по причине заедания, увеличивает их расход и, главное, нарушается ранее выполненная селективная сборка пары замок–труба, которые имели подобранные резьбы. Замена замков приводит к износу резьб труб, а иногда и к повреждению мелкой трубной резьбы, в связи с чем увеличивается вероятность аварий колонны по причине срыва резьб.

Обрыв трубы по телу происходит в основном из-за коррозии тела трубы на внутренней поверхности, когда коррозионные трещины проникают на глубину 2–3 мм.

Обрыв по телу вследствие износа наружной поверхности труб, муфт, замков происходит, в основном, из-за несвоевременной отбраковки их буровой бригадой.

Наиболее часто происходит односторонний износ поверхности бурильных труб, замков, муфт. Это является подтверждением того, что бурильная колонна вращается преимущественно вокруг оси скважины. Измерения аварийных труб по телу показали, что толщина изношенной стенки составляет от 0,4 до 2,4 мм. Когда труба имеет такую толщину стенки с

одной стороны, то приложенная к ней нагрузка при вращении может достигнуть предела текучести металла, вследствие чего односторонне изношенная труба ломается по спирали. Шаг спирали равен 1–3 м. Поломка трубы может произойти двойная за счет отрыва небольших кусков труб, которые попадая в расклин между колонной и стенками скважины, еще более усложняют аварию. При большом износе стенки замков и муфт настолько тонкие, что протираются насквозь и не в состоянии выдержать приложенные нагрузки, раздуваются и разрушаются вдоль по образующей.

Металлографические исследования на аншлифах, изготовленных из новых и аварийных деталей бурильной колонны проводились с помощью микроскопа МИМ-7. На микроскопе МИС-11 (двойной микроскоп Линника) определялась чистота обработки поверхности. Микроструктура стали исследована на 104 образцах, из которых 83 аварийные, 12 снятых с эксплуатации в хорошем состоянии и 9 новых. Аншлифы из аварийных образцов охватывали почти все виды аварий элементов бурильной колонны. После визуального обследования образцов они фотографировались на фототехническую пленку ФТ-31. Результаты исследований показали, что материал бурильных труб имеет разнообразную микроструктуру: сорбит отпуска, сорбитообразный перлит и феррит с зерном 8–9 баллов, среднезернистую перлито-ферритовую однородную и неоднородную с зерном смешанного балла от 3 до 8, крупнозернистую ферритовую с перлитных пластин с зерном 3–4 балла, реже полосчатую. Трубы, вышедшие из строя из-за обрыва по последней нитке резьбы (58,3 %), имеют средне- крупнозернистую микроструктуру. Это дает основание предполагать о влиянии величины зерна на этот вид аварий. Образцы, вышедшие из строя по причине срыва резьбы, имеют микроструктуру сорбит отпуска, сорбитообразный перлит и среднезернистый феррит, перлит и феррит однородный. Их разрушение объясняется другими причинами: качеством изготовления резьб (отклонения по конусности, натягу, шагу, профилю, недостаточный момент свинчивания резьбы).

В некоторых бурильных трубах микроструктура по толщине стенки неодинакова. Внутренняя часть стенки трубы имеет микроструктуру сорбит отпуска, к середине переходит в среднезернистую перлито-ферритовую и к внешнему слою – в крупнозернистую феррито-перлитовую. В трубах, имеющих закаленный поверхностный слой токами высокой частоты, микроструктура внешней поверхности на глубину 0,3–0,5 мм, как правило, сорбит отпуска, реже однородная перлито-ферритовая или сорбит с обрывками феррита. Вглубь металла – неоднородная микроструктура по составу и величине перлита.

Муфты и замки, вышедшие из строя из-за разрушения по образующей или поперек тела, имеют крупнозернистую микроструктуру: феррит и перлит.

Определение механических свойств стали, из которой изготовлены трубы, выполнено в ЦЗЛ Днепропетровского металлургического завода им. Петровского. Для исследования отобраны образцы 7 новых и аварийных труб диаметром 50 мм. Новая труба после закалки ТВЧ имеет очень низкое относительное удлинение и сужение 3,3 и 1,0 % соответственно, вместо 12 и 40% по ГОСТу 7909–56. Труба после эксплуатации имеет пониженное значение предела прочности и относительного удлинения (56,5 кг/мм², 47,2 %). Остальные трубы соответствуют нормам.

Химический состав и марка стали соответствует ГОСТ 4543-71 – сталь 36Г2С трубы и ГОСТ 4543-71 – сталь 40ХН – замки.

Определение твердости металла образцов труб, муфт и замковых соединений выполнено по методу Роквелла прибором ТК-2. Среднеарифметическое значение твердости из 8 – 10 измерений на трубах находится в пределах HRCэ – 18–26. Поверхность закаленных труб HRCэ – 31–39. Замковое соединение имеет твердость HRCэ – 25–35 (40 %). Замки с упрочненной ТВЧ поверхностью HRCэ – 48-57 (10 %). Замковые соединения имеют твердость ниже 26 HRCэ (50 %). Внутренних дефектов в бурильных трубах во время гамма-дефектоскопии не выявлено.

Исследования селективно собранных колонн в производственных условиях проводились в тресте «Артемгеология» в Центральном и Западном Донбассе. Условия бурения в этих рай-

онах имеют ряд отличительных особенностей: в Западном Донбассе геологический разрез представлен породами IV – VI категорий по буримости и скважины не искривляются; в Центральном Донбассе породы более твердые, скважины более глубокие (до 2300 м) и имеют большую интенсивность искривления 3–5 на 100 м. Исследовались бурильные колонны из серийно выпускаемых труб диаметром 50 мм по ГОСТу 7909–56 и замков по ГОСТу 7918–75. Некоторые бурильные колонны состояли из труб, наружная поверхность которых была упрочнена ТВЧ. Особое внимание при изучении прочности бурильных колонн было обращено на качество изготовления резьб труб, муфт и замков.

Проверка качества резьб осуществлена гладкими и резьбовыми калибрами. Сборка колонн осуществлялась в полевых условиях Павлоградской, Щегловской и Артемовской экспедиций и Ханженковской ГРП путем группового подбора резьб пар сопрягаемых деталей по конусности и натягу, зазору между деталями замка. дефектоскопическому контролю резьб, где входному контролю подлежало 100 % деталей; соосности нарезки резьбы по отношению к оси трубы, замка, муфты, перпендикулярности торцов соединения, кривизне труб подлежало 10 % деталей колонны, качеству упрочнения резьбы и наружной поверхности труб, замков – 5 %.

Из-за превышения допусков ГОСТ отбраковано 14,8 % труб; 12,5 % замков; 2,2 % муфт. Однако не удалось обеспечить комплектование бурильных колонн из труб и соединений, резьбы которых полностью соответствовали требованиям ГОСТ, поскольку 43,5 % труб имело натяг от 0 до 5,6 мм, т.е. ниже допуска, предусмотренного стандартом. Аналогичное положение имело место и по трубным резьбам замков. При свинчивании труб с замками (муфтами), имеющими малые натяги, невозможно обеспечить условия прочности таких резьбовых соединений, так как в процессе эксплуатации труба довинчивается и упирается в ненарезанную часть замка и это является основной причиной преждевременного выхода из строя труб, имеющих малые натяги, поскольку происходит срыв резьбы труб или разрушение их торцов на длину от 2 до 5 ниток резьбы. Большое значение при эксплуатации бурильных труб имеет правильная компоновка низа колонны.

Использование в бурильной колонне УБТ достаточного веса способствует росту механической скорости бурения, снижению аварийности, уменьшению износа труб и соединений.

Благодаря применению селективной сборки бурильных колонн, своевременной отбраковки изношенных по наружной поверхности труб, муфт, замков, изношенных до 2-х оборотов на свинчивание замков, а также применению УБТ весом 2800 кг, опытные колонны почти не имели поломок на протяжении 400 – 800 дней, количество аварий с колоннами снизилось в 3 – 5 раз [7].

По данным замеров (таблица) установлено, что в начальный период эксплуатации – 100 дней – поверхность упрочненных труб изнашивается в 2,7 раза медленнее по сравнению с износом неупорядоченных труб. Через 400 дней эксплуатации износ упрочненных труб меньше в 1,7 – 1,8 раза, а при 800 днях – в 1,4 – 1,5 раза меньше [8].

В целом селективная сборка бурильных колонн в тресте «Артемгеология» позволила повысить производительность бурения на 25–30 % за счет применения форсированных режимов бурения [2].

Выводы

Использование бурильных колонн в Волго-Донском ТГУ, укомплектованных по методу селективной сборки предложенному Днепропетровским отделением Института минеральных ресурсов из элементов, соответствующих ГОСТу 7909-56 и 7918-75, позволило практически исключить непроизводительные затраты рабочего времени на ликвидацию обрывов колонн даже при применении повышенных режимов бурения, что обеспечило рост производительности на колонковом бурении на 25–35 % при одновременном увеличении общего срока эксплуатации бурильных колонн [7].

Износ бурильных колонн

С упрочненными и неупрочненными трубами			С УБТ весом 2800 кг	
Время эксплуатации, дни	Износ поверхности труб		Время эксплуатации, дни	Износ поверхности, %
	неупрочненные	упрочненные		
99	17,2	7,5	7,9	9,2
174	20,0	14,5	261	23,5
241	31,6	17,9	332	28,2
295	31,8	20,3	418	32,2
352	34,8	24,0	479	40,3
411	44,2	24,7	725	47,8
–	–	–	823	53,7

Литература

1. Бугаков Ю. Д., Шевченко И. Е. Некоторые данные о надежности бурильной колонны при проходке глубоких колонковых скважин на уголь. // Разведка и охрана недр. – 1965. – № 2.
2. Веретенников А. Г., Климович Э. Е., Темников В. Ф. и др. Изготовление упрочненных бурильных колонн и результаты их внедрения – //Разведка и охрана недр. – 1975. – № 10. – С. 21 – 23.
3. Дудля Н. А., Викторов Г. Н., Кириченко Г. Н., Островский И. Р. Бурильные трубы геологоразведочного сортамента: Монография. – Д.: Изд. дом «Андрей»: – 2007. – 207 с.
4. Израильский А. М., Финкельштейн Г. М. Эксплуатация и ремонт бурильных и обсадных колонн. – М. Недра, – 1966.
5. Кириченко Г. Н., Левада М. П. Опыт комплектования бурильных колонн в Павлоградской экспедиции треста «Днепрогеология». Информационный листок МГ СССР– 1969. – № 3 (15). – 7 с.
6. Козаченко Н. И., Пустовойтенко И. П. Анализ аварий с бурильными колоннами в организациях Министерства геологии Украинской ССР и пути их предупреждения. М. ВИЭМС. Экспресс-информация. Сер. «Техника и технология геологоразведочных работ; организация производства». – 1972. – № 7.– 6 с.
7. Кузьмин Г. Г., Ястребов О. В., Шевченко И. Е., Кириченко Г.Н. Организация комплектования бурильных колонн в Волго-Донском управлении. М.:ОНТИ ВИЭМС, – 1974. – 22 - 25 с.
8. Шевченко И. Е. Исследование прочности колонн бурильных труб при глубоком колонковом бурении в Донбассе. Информационное сообщение. Серия «Техника и технология геологоразведочных работ; организация производства»: – 1969. –№ 65. – 11 с.
9. Щербюк Н. Д., Газанчан Ю. И., Барышников А. И. Эксплуатация бурильных труб и разрушение резьбовых соединений. М.: ВНИИОЭНГ. – 1986. – 59 с.

Поступила 31.05.07.