

## СЕКЦИЯ 16. ГОРНОЕ ДЕЛО. РАЗРАБОТКА РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ И ПРОДОЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ БУРОВОЙ КОЛОННЫ К.В. Мельнов

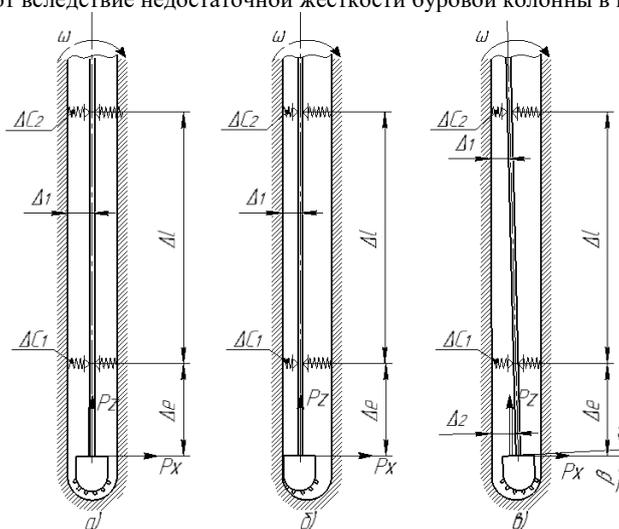
Научный руководитель – профессор Л.А. Саруев

*Национально исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

При бурении скважин колонна буровых труб представляет собой упругую, гибкую нитеобразную систему, имеющую опоры на забое скважины, вращателе бурового станка, а также промежуточные опоры в виде центраторов и стабилизаторов. При вращении буровой колонны система выходит из равновесия и испытывает различные по форме и режиму колебания, при этом периодически меняется величина отклонения оси вращения от оси скважины, угол закручивания и размах колебаний. Колебания колонны могут быть крутильными, поперечными и продольными. Практически колонна испытывает все три вида колебаний. Буровое долото, входящее в состав колонны бурильных труб, испытывает те же виды колебаний и из-за их наличия чаще всего выходит из строя. Вибрации, возникающие при бурении, можно разделить на три группы: вибрация от работы коронки на забое, вибрация от бурового снаряда и вибрации, возникающие от работы оборудования. Вибрации от работы бурового инструмента на забое имеют сложную взаимосвязь с режимами бурения, вибрацией буровой колонны, параметрами станка, физико-механическими свойствами и трещиноватостью горных пород [3].

В данной работе будет рассмотрена взаимосвязь амплитуды вибрации, которая вызвана поперечными и продольными колебаниями, с режимами работы бурового оборудования и коэффициентом жесткости буровой колонны. Так как изучение колебаний буровой колонны в процессе бурения скважин сложная и дорогостоящая процедура, в связи с этим разработан лабораторный стенд для моделирования динамических нагрузок действующих на буровую колонну [2]. В нижней части стенда закреплены устройства для создания динамической нагрузки, имитирующие радиальную и осевую нагрузку с возможностью регулирования, которые изменяются по гармоническому закону. Устройства, подают идеальную динамическую нагрузку буровой инструмент. Имитация нагрузок выполнена по методу динамического подобия с реальным буровым оборудованием [2]. Данный стенд разработан по гранту от компании British Petroleum.

Одной из причин возникновения продольных колебаний является осевая нагрузка на буровой инструмент, вследствие чего, из-за недостаточной жесткости буровой колонны, возникает прогиб буровой трубы относительно центральной оси скважины. Данный прогиб приводит к вредному контакту буровых труб со стенками скважины, тем самым повышается коэффициент трения и увеличивается износ. Рассмотрим три схемы поведения буровой колонны под действием поперечных и продольных колебаний, которые, по нашему мнению, наиболее часто возникают вследствие недостаточной жесткости буровой колонны в процессе работы [1].



**Рис. 1 Колебания буровой колонны**

**а) нормальный режим работы; б) работа резонансной области; в) работа с возникновением прецессии**

Так как, изменяя жесткость буровой колонны, изменяется собственная частота, при помощи этого возможно регулировать режимы работы для необходимых условий, например, крепости горной пород, глубины скважины. На рисунке 1а приведена схема буровой колонны, когда система находится в зарезонансной области, никаких факторов, приводящих к интенсивному разрушению бурового оборудования не наблюдается, работа ведется в нормальном режиме. На рисунке 1б приведена схема поведения буровой колонны при работе в области резонанса, что приводит к резкому увеличению амплитуды вибрации, и отклонению бурового инструмента относительно оси скважины, что может вызвать биения и привести к аварийному разрушению элементов буровой колонны. На рисунке 1в приведена схема работы буровой колонны в дорезонансной области, когда собственная частота системы меньше частоты возбуждения и кроме того в колонне уже присутствует прогиб, вызванный действием осевой нагрузки. Данное явление называется обратной прецессией, именуемое в других источниках обратной ротацией [1], Появление обратной прецессии приводит к ряду негативных факторов, например, таких как несовпадение направления вращения бурового инструмента с вращением буровой колонны

вызывая неравномерное углубление бурового инструмента за один оборот, а также потере основного и периферийного вооружения бурового инструмента. Устраняется вибрация путем увеличения нагрузки на буровой инструмент, уменьшением частоты вращения и увеличения жесткости компоновки буровой колонны. Для проверки последнего, на лабораторном стенде проведена серия экспериментов, полученные данные представлены в виде графической зависимости амплитуды вибрации от жесткости буровой колонны. Результаты приведены на рисунке 2. Изгибная жесткость буровой колонны рассчитана на стенде для моделирования динамических нагрузок, составляет  $C_{изг}=3253$  Н/м.

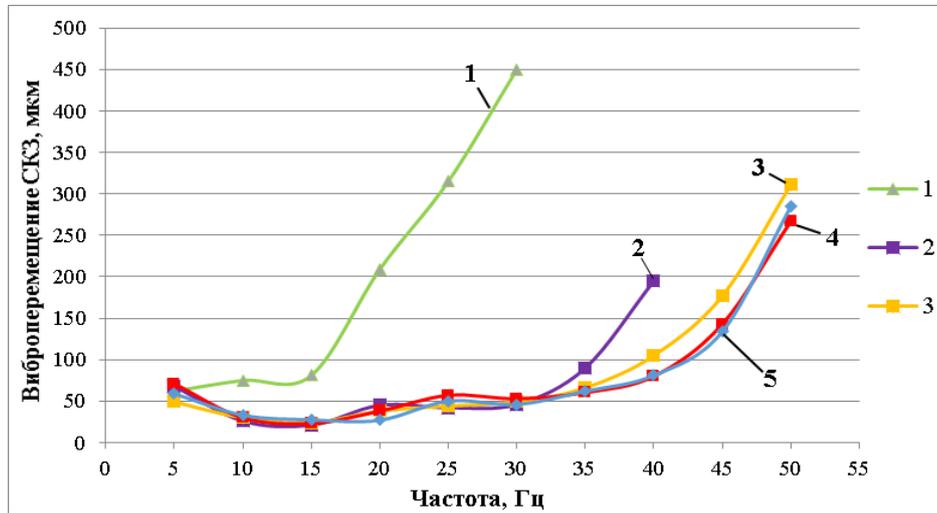


Рис. 2 График виброперемещения долота, при значениях изгибной жесткости модели буровой колонны: 1–2618 Н/м; 2–2927 Н/м; 3–3253 Н/м; 4–3578 Н/м; 5–3903 Н/м

Для регистрации и анализа данных применялся мобильный комплекс для проведения оперативной вибродиагностики "Виброрегистратор-М2". Эксперимент включает в себя серию из пяти основных измерений. При проведении эксперимента, параметр жесткости изменялся путем увеличения либо уменьшения расстояния между промежуточными опорами. По экспериментальным данным построена графическая зависимость для пяти значений жесткости и приведена на рисунке 2 [2]. Эксперименты под №1 и №2, при снижении жесткости модели буровой колонны на 10% и 20% от расчетной. График имеет нелинейную зависимость с резким увеличением амплитуды виброперемещения при повышении частоты вращения. Данный эксперимент ограничен максимальной частотой вращения равной 30 и 40 Гц, так как при данных значениях колебания бурового инструмента превышали допустимый зазор между стенкой скважины и буровой колонной, возникали ударные процессы. В эксперименте №3 показана среднеквадратичная величина виброперемещения для расчетной изгибной жесткости модели буровой колонны. В экспериментах №4 и №5 жесткость увеличена на 10% и 20% от расчетной. На графике наблюдается небольшое снижение амплитуды виброперемещения, визуально установлено отсутствие ударных процессов при работе. Можно сделать вывод, что увеличение жесткости не приводит к существенному снижению вибрации, но позволяет снизить поперечные и продольные колебания буровой колонны, предотвращая прерывистое вращение бурового инструмента. Дополнительным методом снижения вибрации относится применение виброгасящих устройств автобалансировочного типа. Но из-за отсутствия экспериментального оборудования, результаты эксперимента с этими устройствами будут приведены в дальнейших исследованиях.

По полученным данным можно сделать предварительные выводы. Необходимо учитывать коэффициент жесткости буровой колонны при бурении, так как он напрямую взаимосвязан с возникновением вредной динамической нагрузки – вибрацией. Следить за состоянием буровых труб, толщиной стенок, величиной прогиба от общей длины, контролировать надежность резьбовых соединений буровых труб, для предотвращения возникновения люфта в соединении. К сожалению, динамика бурового инструмента ни при проектных, ни при текущих технологических работах, из-за отсутствия соответствующих нормативных материалов, за исключением отдельных случаев, не учитывается.

#### Литература

1. Гуляев В.И., Луговой П.З., Борщ Е.И. Самовозбуждение колебаний бурильной колонны// Прикладная механика– Киев, 2013 том 49 №3, С. 114-125.
2. Мельнов К.В., Гаврилин А.Н. Динамические процессы действующие на долото с алмазными поликристаллическими резаками: Диссертация – Томск, 2015, С. 52-54.
3. Третьяк А.А. Исследование виброустойчивости буровых коронок// Горный информационно-аналитический бюллетень– Москва, 2016 № 10, С. 5-14.