

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН ОТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

Мельнов К.В.

Научный руководитель - профессор Л.А. Саруев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Применение ударно-вращательных механизмов в настоящее время находит широкую область применения, так как данные механизмы позволяют бурить крепкие горные породы. Одним из механизмов для формирования силового импульса является гидроимпульсный механизм [2], эффективность данного механизма подтверждена производственными испытаниями. Принцип работы механизмов предназначенных для ударно-вращательного бурения основывается на формировании силовых импульсов в совокупности с вращением бурового инструмента и их последующей передачи по бурильной колонне. Но при передаче силовых импульсов в зону разрушения горной породы нередко возникают потери энергии, что приводит к снижению производительности данного способа бурения в целом, избежать данной ситуации можно изучив вопрос передачи силовых импульсов по бурильной колонне.

Бурильная колонна является важным звеном для передачи силового импульса при ударно-вращательном бурении. Немаловажным является и способ соединения бурильных труб между собой, так в работе [2, 3] авторы подтверждают, что текущие конструкции соединения бурильных труб не пригодны для передачи по ним силового импульса из-за возникновения больших потерь энергии, а также снижения долговечности резьбовых соединений приводящих к разрушению бурового инструмента.

Бурильная колонна постоянного поперечного сечения в большинстве случаев представляют собой полый круглый цилиндр, приведен на рис. 1. Экспериментальные исследования [1] показывают, что даже в случаях, когда можно пренебречь влиянием внутреннего трения и присутствием неоднородностей в материале бурильных труб, происходит изменение профиля волны деформации, которое сопровождается частичной потерей их энергии. Такая трансформация волн деформации связана с тем, что на участке бурового инструмента, захваченного волной, напряженное состояние в общем случае является пространственным. Это приведет к появлению поперечных колебаний и радиальных волн, которые будут переносить энергию. Для анализа распространения силового импульса необходимо решение трехмерных задач динамической теории упругости, что вызывает значительные математические трудности, поэтому оценка будет проведена на основе приближенной постановке задачи.

Пусть к торцу z полого упругого цилиндра, занимающего область, $0 \leq \varphi \leq 2\pi$, $z \geq 0$ в цилиндрической системе координат r, φ, z , приложена нагрузка P , приводящая к смещению поперечного сечения.

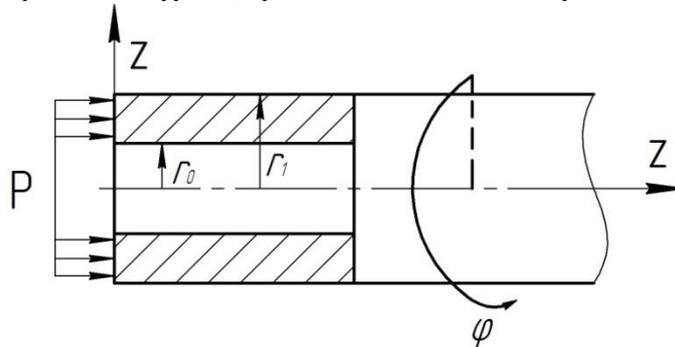


Рис. 1. Геометрия участка бурильной трубы постоянного сечения

В работах [1, 5] отмечено, что на большинстве частот почти вся подводимая к торцу трубы энергия уносится только одной модой. Однако. Это доминирующая мода не является одно и той же на всех частотах. На низких частотах распространяется лишь первая мода, уносящая практически всю энергию. При появлении распространяющихся изгибных и радиальных мод происходит резкий спад относительной величины энергии, переносимой первой модой, и энергия будет уноситься модами высших порядков [4, 5].

Учитывая, что изгибные и радиальные волны не оказывают существенного влияния на процесс разрушения обрабатываемой среды машинами ударного действия, энергия, производящая работу разрушения, будет переноситься только волнами первой моды, являющимися плоскими. Таким образом, разрушение обрабатываемой среды будут производить только волны с частотами меньше частоты возникновения второй моды, то есть с частотами, найденными по формуле [1]:

$$\omega \leq \omega_0 = \frac{\sigma_{10} C_0}{\sqrt{2(1+\vartheta)}}$$

где σ_{10} – табличное значение, полученное из соотношения радиусов бурильных труб [1]; C_0 – скорость распространения волны деформации в металле; ϑ – коэффициент Пуассона. Частота ω_0 называется частотой «отсечки». Пользуясь терминологией других разделов физики можно сказать, что буровой инструмент является фильтром низких частот с полосой пропускания от нуля до ω_0 .

Для определения нижней границы полосы пропускания поперечных волн от толщины стенки бурильных труб была построена математическая модель в программном комплексе Matlab. Результаты математического моделирования, с учетом ранее принятых допущений приведены на рис. 2.

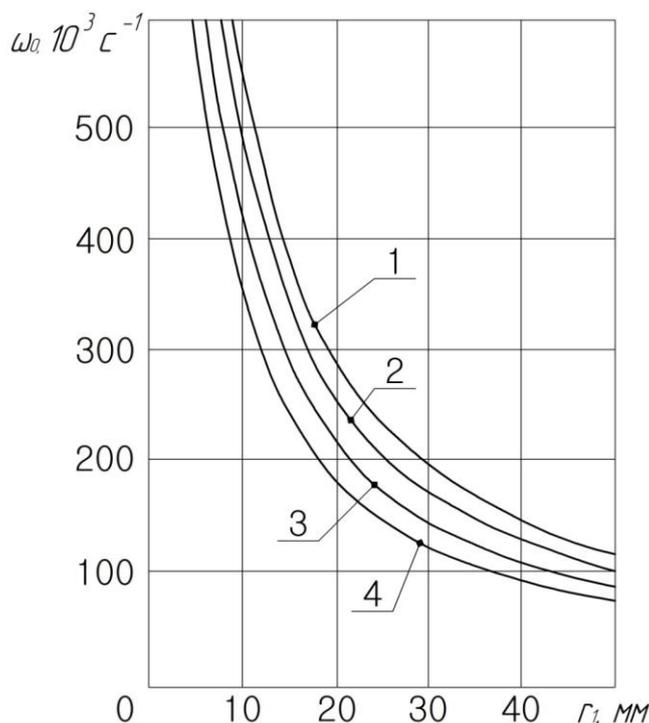


Рис. 2. Зависимость частоты отсечки ω_0 от внешнего радиуса буровой штанги

$h_0=1$; 2) $h_0=0.75$; 3) $h_0=0.5$; 4) $h_0=0.25$.

Значение относительной толщины стенки определялось по формуле:

$$h_0 = (r_1 - r_0) / r_1$$

Анализ графика приводит к выводу, что увеличение внешнего радиуса и уменьшение толщины стенок ведет к уменьшению частоты отсечки. В случае наличия в бурильных трубах нескольких участков с различными внутренними и внешними радиусами необходимо найти значения ω_0 для всех таких участков. В таком случае полоса пропускания всего бурового инструмента определится минимальным значением частоты отсечки ω_0 [1].

Таким образом, если в спектральном разложении волны, которая формируется гидроимпульсным механизмом и передается на породоразрушающий инструмент, присутствуют составляющие с частотами $\omega > \omega_0$, то часть энергии бояка уйдет на возбуждение изгибных и радиальных волн, что приведет к уменьшению коэффициента полезного действия механизма.

Литература

1. Авдеева А.И. Волновые процессы при распространении силовых импульсов по ставу штанг. Диссертация канд. техн. наук. – Томск, 1999. – 149 с.
2. Саруев Л.А., Мельнов К. В. и др. Перспективы развития технологии и техники горизонтально-направленного бурения пилотных скважин для бестраншейной прокладки трубопроводов // Известия Томского политехнического университета. – 2019. – Т.330, № 4 – С.88-97.
3. Мельнов К.В., Саруев Л.А. и др. Исследования передачи силовых импульсов через резьбовые соединения бурильной колонны при вращательно-ударном бурении пилотных скважин для бестраншейной прокладки трубопроводов // Известия Томского политехнического университета. – 2020. – Т. 331. - № 12. – С. 180-186.
4. Саруев Л.А. Исследования распространения упругих волн в колонне буровых штанг при ударно-вращательном бурении скважин в лабораторных условиях / Л.А. Саруев, А.В. Шадрина // Вестник Российской академии естественных наук. Западно-Сибирское отделение. – Кемерово, 2009. – С. 27 – 31.
5. Shadrina A., Saruev L., Vasenin S. The technology improvement and development of the new design-engineering principles of pilot bore directional drilling // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2014 URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/43/1/012068> (дата обращения 12.10.2018).