

УДК 622.23.05

С.А. Решетень

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСА ЭНЕРГИИ УДАРА
В ПРОЦЕССЕ ГИДРОПЕРФОРАТОРНОГО БУРЕНИЯ
СТАНКАМИ УДАРНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ**

В исследовании рассматривается процесс прохождения энергии удара через соединения бурового става. На основе принципиальной схемы передачи энергии удара, создается математическая модель изменения импульса энергии удара в системе «гидроперфоратор-став-порода» буровых станков ударно-вращательного действия.

Ключевые слова: буровые станки, гидроперфоратор, энергия удара.

Одним из самых трудоемких процессов в технологии открытых работ является бурение взрывных скважин. Затраты на буровые работы составляют до 40 % всех затрат, необходимых для добычи 1 кубического метра полезного ископаемого.

Существенный вклад в исследования по технологии бурения на карьерах и разработку буровых станков и их систем внесли Н.В. Мельников, Б.А. Симкин, А.Ф. Суханов, П.П. Назаров, Б.Н. Кутузов, Н.Я. Репин, В.Д. Буткин, Г.М. Водяник, Р.М. Эйгелес, А.А. Жуковский, Н.И. Терехов, Ю.А. Петров, Е.А. Русаков, Г.М. Егоров, Л.И. Кантович, Р.Ю. Подэрни, Б.С. Маховиков, К.Г. Асатур, О.В. Кабанов, С.Г. Зарицкий, В.Э. Шмидт, А.Л. Саруев и др.

Система гидроперфоратор-став-порода бурового станка является основной рабочей единицей и определяет мощность бурового станка и воспринимает нагрузки, возникающие при разрушении породы. Математические модели этой системы, учитывающие конструктивные параметры на настоящий момент разработаны и изучены недостаточно. В связи с этим работы по исследованию взаимосвязи режимных и конструктивных параметров бурения с долговечностью инструмента и эффективностью проходки скважин, анализа динамики и способов снижения динамических нагрузок на основе математического моделирования в конкретных горно-геологических условиях являются актуальными.

Для исследования была выбрана концепция и буровая система гидроперфоратор-буровой став компании Атлас Копко, Швеция. Закономерности работы соединений бурового става и их влияние на передачу энергии удара можно проанализировать на основе теоретического описания процесса прохождения импульса через резьбовое соединение хвостовика-штанги (рис. 1)

Поршень гидроперфоратора бьет по хвостовику импульсом P в точке O [1]. Длину участка става обозначим L , длина хвостовика до соединения - l_1 длина первой штанги после соединения - l_2 .

Тогда изучение прохождения импульса энергии удара через соединение «хвостовик-штанга» можно свести к решению системы трех уравнений в частных производных второго порядка с соответствующими начальными и граничными условиями для каждого из трех элементов, на которые условно разделили соединение (рис. 2).

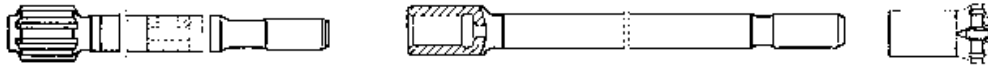


Рис. 1. Буровой став ударно-вращательного станка

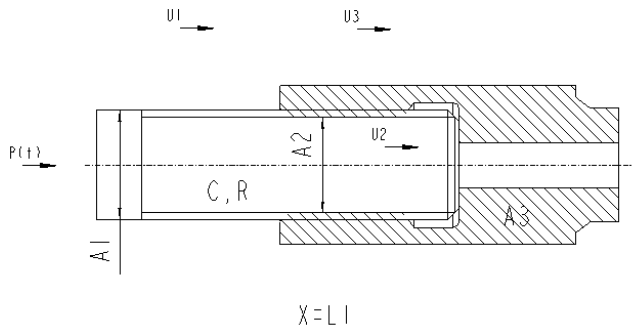


Рис. 2. Принципиальная схема передачи энергии удара через соединение буровых штанг

Существующие методики [3] не дают представления о процессе прохождения энергии удара. При составлении уравнений примем следующие обозначения времени начала прохождения силового импульса через отдельные участки соединения штанг:

$t_1=0$ - начало приложения импульсной нагрузки $P(t)$ к торцу хвостовика в точке $x = 0$; $t_2=0$ - начало передачи

импульса в резьбовую часть хвостовика-штанги; $t_3=0$ - начало выхода импульса из соединения в стартовую штангу.

Составим уравнения для трех элементов:

$$\frac{\partial^2 u_1}{\partial t_1^2} = a^2 \frac{\partial^2 u_1}{\partial x_1^2} \quad 0 \leq x \leq l_1 \quad a^2 = \frac{E}{\rho} \quad (1)$$

$$u_1(0, x_1) = 0 \quad \left. \frac{\partial u_1}{\partial t} \right|_{t_1=0} - EA_1 \left. \frac{\partial u_1}{\partial x_1} \right|_{x_1=0} = P(t) \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 u_2}{\partial t_2^2} = a^2 \frac{\partial^2 u_2}{\partial x_2^2} - \frac{C}{\rho A_2} (u_2 - u_3) - \frac{R}{\rho A_2} \left(\frac{\partial u_2}{\partial t_2} - \frac{\partial u_3}{\partial t_2} \right) \quad 0 \leq x_2 \leq l_2 \quad (3)$$

$$u_2|_{t_2=0} = 0 \quad \left. \frac{\partial u_2}{\partial t_2} \right|_{t_2=0} = 0 \quad -EA_2 \left. \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \right|_{x_2=0} = EA_1 \left. \frac{\partial u_1}{\partial x_1} \right|_{x_1=l_1} \quad (4)$$

$$\frac{\partial u_3}{\partial t_2^2} = a^2 \frac{\partial^2 u_3}{\partial x_2^2} - \frac{C}{\rho A_3} (u_2 - u_3) - \frac{R}{\rho A_3} \left(\frac{\partial u_2}{\partial t_2} - \frac{\partial u_3}{\partial t_2} \right) \quad 0 \leq x_2 \leq l_2 \quad (5)$$

$$u_3|_{t_3=0} = 0 \quad \left. \frac{\partial u_3}{\partial t_3} \right|_{t_3=0} = 0 \quad -EA_3 \left. \frac{\partial u_3}{\partial x_3} \right|_{x_3=0} = EA_2 \left. \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \right|_{x_2=l_2} \quad (6)$$

Для решения уравнений (1)-(6) были применены преобразование Лапласа [2], теорема смещения и интегрирования оригинала, а также введены следующие обозначения: u_1, u_2, u_3 - смещения сечений; A_1, A_2, A_3 - площади поперечных сечений; a - скорость звука; ρ - плотность материала из которого изготовлен буровой став; C - жесткость взаимодействия «хвостовик-штанга»; R - эквивалентный коэффициент вязкого трения;

$$\bar{v} = A_2 \bar{u}_2 + A_3 \bar{u}_3,$$

$$q_1 = \frac{Ra^2}{2E} \left(\frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_3} \right) \quad q_2 = \frac{1}{\rho} \left(\frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_3} \right) \left[C - \frac{R^2}{4\rho} \left(\frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_3} \right) \right] \quad (7)$$

Применяя обратное преобразование Лапласа, получена функция:

$$P_{\text{вых}}(t) = \left(\frac{A_2}{A_2 + A_3} + \frac{A_3 e^{\frac{l_2 q_1}{a}}}{A_2 + A_3} \right) P_{\text{вх}} \left(t - \frac{l_2}{a} \right) - \frac{A_3}{A_2 + A_3} \frac{l_2 q_2}{a} \int P_{\text{вх}}(t - \tau) e^{q_1 \tau} \frac{J_1 \left(q_2 \sqrt{t^2 - \frac{l_2^2}{a^2}} \right)}{\sqrt{t^2 - \frac{l_2^2}{a^2}}} dt, \quad (8)$$

$$J_1(z) = \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \frac{\left(\frac{z}{2} \right)^{2k+1}}{k! \Gamma(k+2)} \quad (9)$$

Функция (8) дает возможность определить форму и численные значения параметров импульса, важнейшим из которых является энергия удара. С помощью созданной математической модели можно отследить потери энергии удара на резьбовых соединениях бурового става, что может быть использовано для дальнейшего совершенствования технологии производства гидроперфораторов, а также бурового става.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимов О.Д. Расчет ударных систем с неторцевым соударением элементов – Фрунзе: И., - 1979 - 102 с.
2. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров.- М., Наука, 1968. – 237 с.
3. Манжосов В.К. Модели продольного удара. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2006. – 106 с. **ИИЭБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Решетень Станислав Андреевич — аспирант кафедры Транспорта и хранения нефти и газа Санкт-Петербургского государственного горного института (технического университета), руководитель отдела бурового оборудования, ЗАО «АТЛАС КОПКО»,
E-mail: stanislav.resheten@ru.atlascopco.com

