УДК 622.23.05

С.А.РЕШЕТЕНЬ, *аспирант, mauzer@hotbox.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

S.A.RESHETEN, *post-graduate student, mauzer@hotbox.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСА ЭНЕРГИИ УДАРА В СИСТЕМЕ «ГИДРОПЕРФОРАТОР – СТАВ – ПОРОДА» БУРОВЫХ СТАНКОВ УДАРНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

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.

MATHEMATICAL MODEL OF IMPACT ENERGY PULSE CHANGES IN «ROCK DRILL – ROD – ROCK» SYSTEM OF ROTARY-PERCUSSION DRILL RIGS

This article describes the process of passing the impact energy through the connection of drilling composition. Based on the concept of impact energy transfer, created a mathematical model of impact energy pulse changes in the «rock drill-rod-rock» system of rotary-percussion drill rigs.

Key words: drill rigs, rock drill, impact energy.

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 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, 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 исследование взаимосвязи режимных и конструктивных параметров бурения с долговечностью инструмента и эффективностью проходки скважин, анализ динамики и способов снижения динамических нагрузок на основе математического моделирования в конкретных горно-геологических условиях являются актуальными.

Существующие методики [3] не дают представления о процессе прохождения энергии удара. Закономерности работы соединений бурового става и их влияние на передачу энергии удара можно проанализиро-

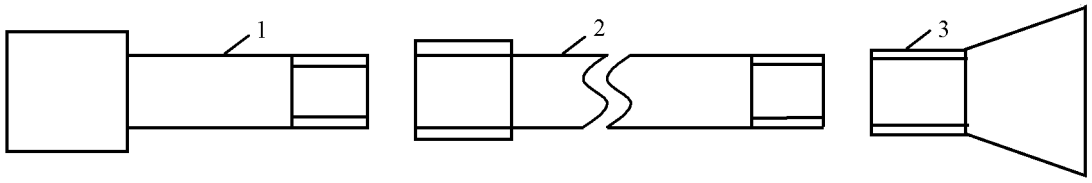


Рис. 1. Буровой став ударно-вращательного станка

1 – хвостовик; 2 – штанга; 3 – коронка

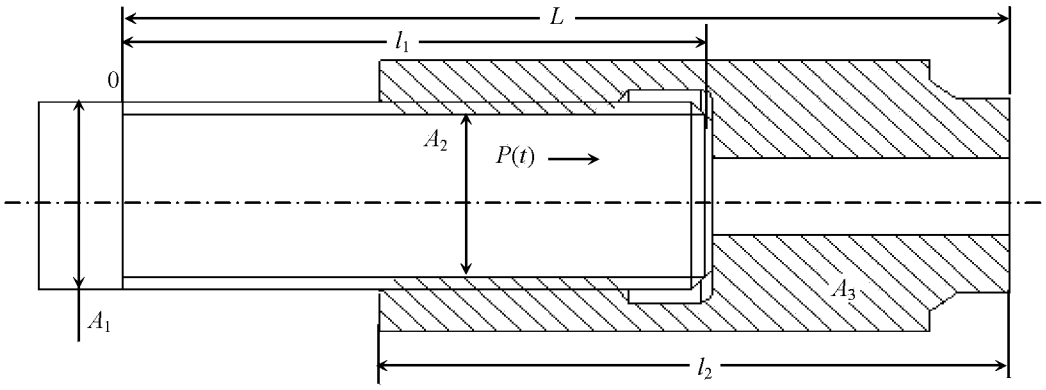


Рис.2. Принципиальная схема передачи энергии удара через соединение буровых штанг

вать на основе теоретического описания процесса прохождения импульса через резьбовое соединение хвостовика и штанги (рис.1)

Поршень гидроперфоратора бьет по хвостовику импульсом P в точке 0 [1] (рис.2). Длину участка става обозначим L, длину хвостовика до соединения – l_1, длину первой штанги после соединения l_2.

Тогда изучение прохождения импульса энергии удара через соединение хвостовика и штанги 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).

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 соединения хвостовика и штанги;

$t_3 = 0$ – начало выхода импульса из соединения в стартовую штангу.

Составим уравнения для трех элементов:

$$\frac{\partial^2 u_1}{\partial t_1^2} = a^2 \frac{\partial^2 u_1}{\partial x_1^2}$$

при $0 \le x \le l_1$;

$$a_2 = \frac{E}{\rho}; \qquad (1)$$

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

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

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

при $0 \le x_2 \le l_2$; (3)

$$u_2\big|_{t_2=0} = 0; \quad \left.\frac{\partial u_2}{\partial t_2}\right|_{t_2=0} = 0;$$

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

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

при $0 \le x_2 \le l_2$; (5)

$$u_3\big|_{t_3=0} = 0; \quad \left.\frac{\partial u_3}{\partial t_3}\right|_{t_3=0} = 0;$$

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

где u_1, u_2, u_3 – смещения сечений; a – скорость звука; ρ – плотность материала, из которого изготовлен буровой став; A_1, A_2, A_3 – площади поперечных сечений; C – жесткость взаимодействия хвостовика и штанги; R – эквивалентный коэффициент вязкого трения.

Для решения уравнений (1)-(6) были применены преобразование Лапласа [2], теорема смещения и интегрирования оригинала.

Введем следующие обозначения:

$$\overline{v} = A_2\overline{u}_2 + A_3\overline{u}_3;$$

$$q_1 = \frac{Ra^2}{2E}\left(\frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_3}\right);$$

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

Применяя обратное преобразование Лапласа, получим функцию

$$P_{\text{вых}}(t) = \left(\frac{A_2}{A_2 + A_3} + \frac{A_3 e^{\frac{l_2 q_1}{a}}}{A_2 + A_3}\right) \times$$

$$\times P_{\text{вх}}\left(t - \frac{l_2}{a}\right) - \frac{A_3}{A_2 + A_3}\frac{l_2 q_2}{a}\int P_{\text{вх}}(t-\tau) \times$$

$$\times e^{q_1\tau}\frac{J_1\left(q_2\sqrt{t^2 - \frac{l_2^2}{a^2}}\right)}{\sqrt{t^2 - \frac{l_2^2}{a^2}}}dt, \quad (7)$$

где $J_1(z) = \sum_{k=0}^{\infty}(-1)^k\frac{(0{,}5z)^{2k+1}}{k!\Gamma(k+2)}$.

Функция (7) 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 позволит в дальнейшем совершенствовать технологию производства гидроперфораторов, а также бурового става.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Алимов О.Д.* Расчет ударных систем с неторцевым соударением элементов. Фрунзе: И., 1979. 102 с.

2. *Корн Г.А.* Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г.А.Корн, Т.М.Корн. М.: Наука, 1968. 237 с.

3. *Манжосов В.К.* Модели продольного удара. Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2006. 106 с.

REFERENCES

1. *Alimov O.D.* Calculation of shock systems netortsevym collision of elements. Frunze: I., 1979. 102 p.

2. *Korn G.A., Korn T.M.* Mathematical Handbook for Scientists and engineers. Moscow: Nauka, 1968. 237 p.

3. *Manzhosov V.K.* Models longitudinal impact. Ulyanovsk: UlGTU, 2006. 106 p.

Научный руководитель канд. техн. наук, доцент *О.В.Кабанов*