

УДК 622.233.5.05

**ПРЕОБРАЗОВАНИЕ УДАРНЫХ ИМПУЛЬСОВ**

Рындин В. П., д.т.н., доцент, профессор  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева, Смирнова Т. В., инженер ( РЭУ имени Г. В. Плехано-  
ва, филиал в г. Кемерово)

Формулы о распределении напряжений, действующих в ударной системе бурильной машины, основаны на решении волнового уравнения по теории Сен-Венана, которая основывается на допущении, что при ударе стержней контакт соударяющихся тел осуществляется по всей поверхности соударения. При этом напряжения и деформации в телах распространяются не мгновенно, а с конечной скоростью ударной волны.

Движение поперечных сечений описывается одномерным волновым дифференциальным уравнением

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2},$$

где  $u$  - перемещение сечения стержня;  $c$  - скорость ударной волны.

Решение этого уравнения имеет вид

$$u = f(x - ct) + g(x + ct), \quad (1)$$

где первое слагаемое представляет собой волновую функцию  $f(x)$ , перемещающуюся в положительном направлении оси  $x$ , а второе - волновую функцию  $g(x)$ , перемещающуюся в отрицательном направлении. На основе этого решения рядом исследователей разработаны методы расчета распространения плоских волн в твердых телах и жидких средах.

В современных вращательно-ударных бурильных машинах ударный импульс меньше длины буровой штанги, что дает возможность выделить первый ударный импульс без наложенных на него отраженных импульсов и, используя аналоговые приборы или микро-ЭВМ, достаточно точно определить параметры ударного импульса (продолжительность, частоту, энергию, количество движения, перемещение сечения штанги, коронки и т.п.).

Ударные импульсы в штангах бурильных машин, преобразованные в электрический сигнал, можно отнести к видеоимпульсам. Для оценки параметров импульсов, характеризующих величину, длительность, энергию, ко-

личество движения, перемещение, скорость смещения автором применен интегральный метод измерения параметров импульсов, разработанный для радиотехнических измерений и преобразованный для оценки параметров механических импульсов упругой деформации штанги.

По осциллограммам реальных ударных импульсов трудно определить их продолжительность. Поэтому автором была поставлена задача: преобразовать ударный импульс произвольной формы в эквивалентный прямоугольный, равный по энергии и количеству движения. Прямоугольный импульс характеризуется двумя параметрами - продолжительностью импульса и его амплитудой. Для определения продолжительности введем понятие эквивалентной продолжительности импульса

$$t_{\text{э}} = m / \rho c F,$$

где  $t_{\text{э}}$  - эквивалентная продолжительность импульса;  $m$ - масса бойка;  $\rho$  - плотность материала штанги;  $c$  – скорость ударной волны;  $F$  – площадь сечения штанги.

Эквивалентная продолжительность импульса равна отношению массы бойка к условному “массовому расходу” вещества через сечение штанги площадью  $F$ , если допустить, что скорость в этом сечении равна скорости перемещения ударного импульса  $c$ . Применяя гидравлическую аналогию, можно сказать, что  $t_{\text{э}}$  это время, за которое масса бойка “пройдет” через данное сечение штанги со скоростью  $c$ . Эту величину можно определить также по формуле

$$t_{\text{э}} = \int_{\tau} \bar{\varepsilon}(t) dt, \quad (2)$$

$$\bar{\varepsilon} = \frac{c}{v} \varepsilon$$

где  $\bar{\varepsilon}$  - нормированная относительная деформация штанги;

$v$  - скорость бойка;  $\varepsilon$  - относительная деформация;  $c$  – скорость ударной волны;  $\tau$  - продолжительность импульса.

Следовательно, эквивалентная продолжительность импульса численно равна площади под графиком нормированной относительной деформации в функции времени.

Амплитуду и длительность ударного импульса произвольной формы следует заменять интегральными характеристиками: обобщенными амплитудой  $\varepsilon_0$  и длительностью  $t_{i0}$  прямоугольного импульса, который имеет такую же энергию и количество движения. Обобщенные амплитуда и длительность импульса определяются по формулам [1]

$$\varepsilon_0 = \frac{\int \varepsilon^2(t) dt}{\int \varepsilon(t) dt} \quad \text{и} \quad t_{u0} = \frac{\left[ \int_{\tau} \varepsilon(t) dt \right]^2}{\int_{\tau} \varepsilon^2(t) dt} = 2t_{\varepsilon}. \quad (3, 4)$$

Таким образом, обобщенная продолжительность прямоугольного импульса, энергия и количество движения которого равны соответственно энергии и количеству движения импульса произвольной формы, равна двойной эквивалентной продолжительности импульса. Применение интегрального метода обработки ударных импульсов, то есть замена импульсов произвольной формы прямоугольными, которые эквивалентны по энергии и количеству движения, дали основу для разработки калибровочных устройств измерителей энергетических параметров буровых машин ударного действия.

По первым после удара импульсам определяется энергия удара и ударная мощность. Энергия ударного импульса произвольной формы определяется по формуле, полученной Ф. Арндтом из уравнения (1)

$$A = \rho c^3 F \int_0^{t_u} \varepsilon^2(t) dt, \quad (5)$$

где  $\rho$  - плотность материала штанги;  $c$  – скорость ударной волны;  $F$  – площадь сечения штанги;  $\varepsilon$  - относительная деформация штанги;  $t_u$ - продолжительность импульса.

Формулу (5) можно преобразовать в

$$A = \frac{m}{2t_{\varepsilon}^2} \left[ c \int_{\tau} \varepsilon(t) dt \right]^2, \quad (6)$$

Поскольку в этой формуле выражение в квадратных скобках есть смещение сечения штанги за время удара, то область ее применения - для приборов, в которых используются датчики перемещений для измерения деформации штанги.

Ударные импульсы продольной деформации буровой штанги можно преобразовать частично в импульсы крутящего момента значительной импульсной мощности [1, 2]. Установлено [3], что при распространении продольного ударного импульса по естественно закрученному стержню, возникает импульсный крутящий момент по форме напоминающий один период синусоиды, продолжительность которого соизмерима с длительностью продольного ударного импульса (несколько сот микросекунд). Это открывает но-

вое направление совершенствования вращательно-ударного бурения, После прохождения через естественно закрученный стержень осевой ударный импульс разделяется на продольный импульс и импульс крутящего момента. Поскольку энергоемкость разрушения породы сдвигом и скалыванием, примерно, в десять раз меньше, чем при сжатии, что дает возможность повысить производительность бурения крепких пород. При разрушении породы крутящим моментом развивается мощность, которая обеспечивается волновым способом ее подвода, когда энергия переносится интенсивными осевыми и крутильными импульсами микросекундной продолжительности, работающими совместно [4 , 5].

### Список литературы:

1. Рындин В. П. Волновые процессы в штангах бурильных машин ударного действия: монография/ В. П. Рындин, Т. В. Смирнова; ГУ КузГТУ. - Кемерово 2009. - 190 с.
2. Рындин В.П. К вопросу совершенствования ударного бурения. //Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ). 2016. - №8. – С. 146 – 150.
3. Рындин В.П. Некоторые особенности распространения ударных импульсов в стержнях// Вестник Кузбасского государственного технического университета.- Кемерово, 2004. - №4. - С.20-21.
4. Пат. № 167239 РФ: МПК E21B 6/02 (2006.01). Буровая машина для вращательно-ударного бурения в горных породах / Рындин В.П.; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т. им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). - № 2016129660/03,
5. Рындин В.П. Совершенствование вращательно-ударного бурения горных пород// Вестник КузГТУ,- Кемерово, 2017. - №2 .- С. 84 -87.