УДК 622.233.05

В.П.Рындин

УДАРНЫЕ ИМПУЛЬСЫ В ШТАНГЕ БУРИЛЬНОЙ МАШИНЫ

В настоящее время широкое распространение получили гидравлические бурильные машины, форма ударника которых приближается к цилиндрической, т.е. имеет менее выраженный ступенчатый характер по сравнению с пневматическими установками. Рассмотрим параметры ударного импульса в стержне при ударе цилиндрическим бойком.

Формулы о распределении напряжений и усилий [1] , действующих в ударной системе, выведены из волнового уравнения по теории Сен-Венана, которая основана на предположении, что при соударении стержней контакт соударяющихся тел осуществляется по всей поверхности соударения. В случае равных сечений в плоскости контакта отсутствуют отраженные волны и импульсы напряжений имеют прямоугольную форму.

При ударе цилиндрическим бойком по стержню меньшего диаметра в последнем возникает импульс упругой деформации, состоящий из нескольких ступеней, убывающих по амплитуде.

Амплитуда ступени n определяется по формуле

$$P_n = \frac{EF_1\upsilon}{2c} q[r]^{n-1} \qquad (1)$$

где P_n - амплитуда сил при n-ом проходе волны напряжения в бойке; E- модуль упругости материала стержней; F_1- площадь сечения ударника; F_2 - площадь сечения штанги; υ - скорость соударения; c- скорость распространения ударной волны по стержню; r- коэффициент отражения; n - порядковый номер ступени; q- коэффициент прохождения

$$q = \frac{2F_2}{F_1 + F_2} \quad . \qquad (2)$$

Коэффициент отражения

$$r = \frac{F_2 - F_1}{F_1 + F_2} \qquad (3)$$

Путем простых преобразований формулу (1) можно представить в более удобном для расчетов виде:

$$P_n = E\frac{F_2\upsilon}{c_2}\frac{R}{R+1}\left|\frac{R-1}{R+1}\right|^{n-1},$$

где R - коэффициент прохождения

$$R = \frac{F_1\rho_1 c_1}{F_2\rho_2 c_2},$$

где ρ_1, ρ_2 - соответственно, плотности материала бойка и штанги; c_1, c_2 - скорости волны деформации в бойке и штанге.

Относительная деформация штанги

$$\varepsilon_n = \frac{\upsilon}{c_2}\frac{R}{R+1}\left|\frac{R-1}{R+1}\right|^{n-1}. \qquad (4)$$

Введем величину

$$\overline{\varepsilon} = \frac{\varepsilon\, c_2}{\upsilon} \qquad (5)$$

где $\overline{\varepsilon}$ - нормированная относительная деформация, которая не зависит от скорости удара и скорости ударной волны.

Тогда

$$\overline{\varepsilon}_n = \frac{R}{R+1}\left|\frac{R-1}{R+1}\right|^{n-1}.$$

Ударный импульс состоит из нескольких прямоугольных ступеней. Каждая ступень $\overline{\varepsilon}$ имеет продолжительность

$$\tau = \frac{2l_1}{c_1},$$

где l_1 - длина бойка.

Энергию импульса можно определить [2] по формуле

$$A = EF_2c\int_\tau \varepsilon^2(t)dt, \qquad (6)$$

где E - модуль упругости материала штанги; τ - продолжительность импульса; $\varepsilon(t)$ - относительная деформация штанги. Для вычисления энергии удара по формуле (6) на осциллограмме ударного импульса измеряют амплитуды через малые интервалы времени Δt . Затем строят импульс по амплитудам напряжений, возведенным в квадрат, и графическим интегрированием определяют его площадь.

Эту трудоемкую операцию можно несколько упростить, если энергию ударного импульса представить следующим образом.

Поскольку штанга перед ударом находилась в покое, а после удара в бойке не осталось энергии (считаем, что импульс не дошел до конца штанги и отраженных волн нет), то [2]:

$$mv = EF_2\int_\tau \varepsilon(t)dt,$$

где m,v - масса и скорость бойка перед ударом.

Подставив скорость в формулу кинетической энергии бойка, получим

$$A = \frac{\rho^2c^2F_2^2}{2m}\left[c\int_\tau \varepsilon(t)dt\right]^2 \qquad (7)$$

Формулу (7) можно преобразовать следующим образом

$$A = \frac{m}{2t_э^2}\left[c\int_\tau \varepsilon(t)dt\right]^2 \qquad (8)$$

где $t_э = m/\rho_2 c_2 F_2$ - эквивалентная продолжительность импульса..

Эквивалентная продолжительность импульса равна отношению массы бойка к “массовому расходу” вещества через сечение штанги площадью F_2, если скорость в этом сечении будет равна скорости перемещения ударного импульса c.

Из волновой теории удара следует, что

$$S = c\int_\tau \varepsilon(t)dt \qquad (9)$$

где $S=vt_э$ - перемещение сечения штанги за время удара.

Преобразовав относительную деформацию по формуле (5), получим

$$t_э = \int\limits_{\tau} \overline{\varepsilon}(t)dt\ . \qquad (10)$$

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

Энергию удара можно определить по смещению сечения штанги. Из выражений (7) и (9)

$$A = \frac{\rho^2 c^2 F_2^2}{2m} S^2 . \qquad (11)$$

Этот вариант удобно применять, если датчик измеряет смещение сечения штанги во время удара.

Выразив модуль упругости через плотность и скорость ударной волны, формулу (6) можно преобразовать в

$$A = \rho F_2 c^3 \int\limits_{\tau} \varepsilon^2(t)dt\ . \qquad (12)$$

Следовательно, формулы (6), (7), (11), (12) могут быть положены в основу алгоритмов приборов для измерения энергии ударов бурильных машин [3].

Применение формулы (7) дает возможность исключить квадратор из функциональной схемы прибора, заменив его нелинейной шкалой, а формула (11) позволяет использовать для измерения энергии удара датчик перемещений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов К.И.* Техника бурения при разработке месторождений полезных ископаемых/ К. И. Иванов, М.С. Варич, В.И. Дусев, В. Д. Андреев.- М.: Недра, 1974.- 408 с.

2. *Арнд Ф.К.* Механизм соударения поршня и штанги при ударном бурении// Глюкауф.- 1966.- №24.- С.153-163.

3. *Рындин В.П.* Измеритель частоты и энергии ударов бурильных машин./ В.П. Рындин, В. Е. Беспалов // Механизация работ на рудниках. Сб. научн. тр. Кузбас. политехн. ин-т, Кемерово, 1981 -С.203-206.

Автор статьи:

Рындин
Владимир Прокопьевич
- канд.техн.наук, доц. каф.
стационарных и транспортных машин