

К ВОПРОСУ О ПЕРЕДАЧЕ ЭНЕРГИИ ПРИ УДАРЕ  
В БУРИЛЬНЫХ И ОТБОЙНЫХ МОЛОТКАХ

А. Г. ЦУКАНОВ

(Представлена кафедрой теоретической механики)

В статье рассматриваются математические зависимости для коэффициента передачи кинетической энергии при соударении бойка и буровой штанги. Проводится сравнение расчетных значений указанного коэффициента при двух предположениях, принятых при использовании волновой теории удара.

Вначале рассматриваются волновые процессы как в буровой штанге, так и в бойке-ударнике. Математическая постановка задачи и зависимость для коэффициента передачи энергии в этом случае получена Ю. В. Беляевым [1]. Во втором случае учитывается распространение волн только в буровой штанге, предполагая, что боек представляет собой абсолютно твердое тело. Расчетные значения коэффициента сопоставляются с данными эксперимента. Ю. В. Беляев, обобщая известное решение о соударении двух упругих стержней на случай, когда они имеют разные диаметры, рассматривает волновое уравнение с соответствующими начальными граничными условиями:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где  $u$  — перемещение какого-либо поперечного сечения стержня;

$x$  — координата рассматриваемого сечения;

$a$  — скорость распространения волн в материале стержней.

Определив относительную деформацию в контактном сечении стержней, время контакта и ударный импульс, по теореме количества движения определяется скорость центра инерции второго стержня (бура) и кинетическая энергия, соответствующая этой скорости. Тогда для коэффициента передачи кинетической энергии при соударении двух упругих стержней (бок-бур) Ю. В. Беляев получает формулу

$$\eta = \frac{m_1}{m_2} \left[ 1 - f^p + a(1 - f)f^p \right]^2. \quad (2)$$

Здесь  $f = \frac{a_2 - \kappa a_1}{a_2 + \kappa a_1}$ ,  $\kappa = \frac{E_2 F_2}{E_1 F_1}$ ,

$a_1, a_2$  — соответственно скорости распространения звуковых волн в материале стержней;

$p$  — целое число в выражении

$$\frac{T_2}{T_1} = p + \alpha \quad (0 < \alpha < 1),$$

$T_1, T_2$  — соответственно время движения волн вдоль стержней при соударении.

Получим теперь зависимость для коэффициента передачи кинетической энергии при соударении упругого стержня (бура) и бойка в предположении, что последний представляет собою абсолютно твердое тело. Задача приводится к решению волнового уравнения

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

с начальными условиями (рис. 1):

$$\begin{aligned} & \text{при } t = 0 \quad u = 0 \\ & \frac{\partial u}{\partial t} = 0 \quad (0 < x < l), \\ & \frac{\partial u}{\partial t} = -v_0 \quad (x = l); \end{aligned}$$

с граничными условиями:

$$\begin{aligned} & \text{при } x = 0 \quad \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \\ & x = l \quad bl \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -a^2 \frac{\partial u}{\partial x}, \end{aligned}$$

где  $b$  — отношение веса бойка  $p_1$  к весу стержня  $P_2 = \gamma Fl$ .  
Решение волнового уравнения при указанных начальных и граничных

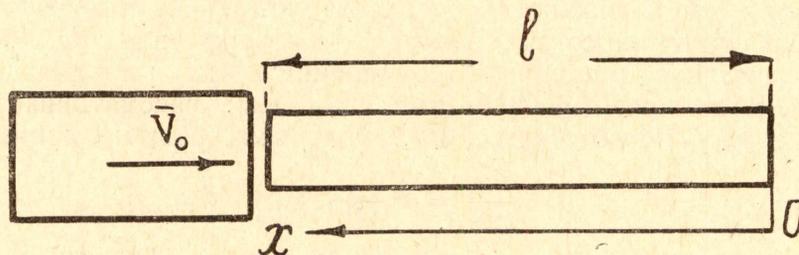


Рис. 1.

условиях можно найти в работе [2]. Воспользуемся этим решением и получим новую зависимость для коэффициента передачи энергии удара.

Скорость бойка, рассматриваемого как твердое тело, по окончании фазы соударения представится следующим выражением:

$$v_1 = \left( \frac{\partial u}{\partial t} \right)_{x=l} = -v_0 e^{-\frac{2}{b}}.$$

Для определения скорости стержня (бура) после соударения воспользуемся теоремой количества движения. Учитывая, что импульс внешних сил при соударении в системе (боек-бур) равен нулю, получим следующее выражение для скорости центра масс бура по окончании фазы удара:

$$v_2 = -bv_0 \left( 1 - e^{-\frac{2}{b}} \right).$$

Теперь мы имеем возможность определить кинетическую энергию бура, полученную от бойка при соударении

$$A_2 = \frac{m_2 v_2^2}{2}.$$

Зная кинетическую энергию бойка в начале фазы удара

$$A_1 = \frac{m_1 v_0^2}{2},$$

определяем коэффициент передачи энергии удара

$$\eta = \frac{m_1}{m_2} \left( 1 - e^{-\frac{2m_2}{m_1}} \right)^2. \quad (3)$$

Таким образом, коэффициент передачи кинетической энергии при соударении бойка и буровой штанги представлен двумя формулами (2) и (3), в основу вывода которых положены предпосылки теории распространения волн. Расчетные данные, полученные по указанным формулам, были сопоставлены с данными эксперимента.

При проведении эксперимента использовался метод „выстрела“.

На рис. 2 представлена схема экспериментальной установки. Она состоит из механизма для разгона бойка и направляющего устройства. Механизм для разгона бойка состоит из цилиндрического корпуса 1, жестко укрепленного на массивном основании копра; стальной пружины 2, двух цилиндрических упоров 3, 4, предназначенных для сжатия пружины, и последующего выброса бойка 5.

Боек имел вес 3 кг, диаметр  $d_1 = 38$  мм изготовлен из стали 40 ХН и закален до  $H = 45-50$ . Торцовая поверхность бойка плоская. В качестве стержней 6, воспринимающих удар, использовались обычные буровые штанги диаметра  $d_2 = 25$  мм с закаленными хвостовиками. Коэффициент полезного действия или коэффициент передачи энергии при соударении бойка и бура определялся из соотношения

$$\eta = \frac{A_2}{A_1},$$

где  $A_1$  — кинетическая энергия бойка в начале фазы соударения;

$A_2$  — кинетическая энергия стержня-бура, полученная от бойка в конце акта удара.

Для определения  $A_1$  производился свободный взлет бойка без соуда-

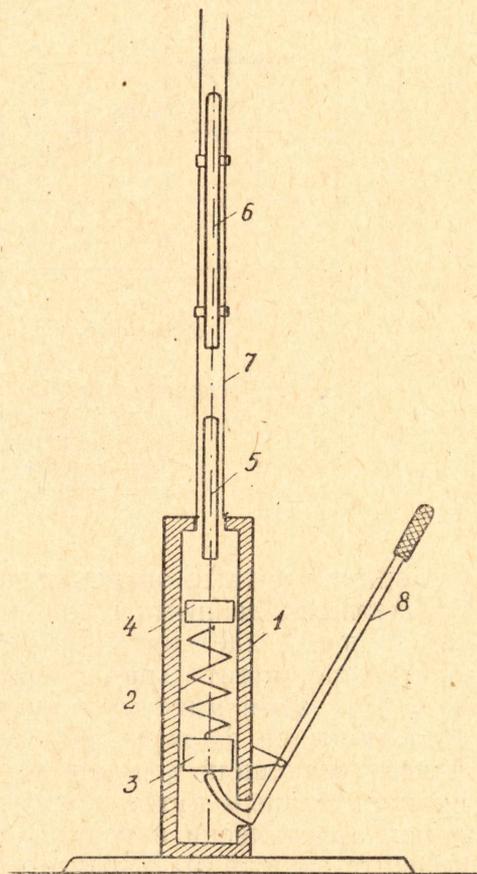


Рис. 2. Схема экспериментальной установки.

рения с буром и фиксировалась высота этого взлета. При определении  $A_2$  фиксировалась высота взлета бура после того, как он получит удар бойком 5.

По высоте взлета бура определялась кинетическая энергия, соответствующая перемещению бура со скоростью центра масс, как это и предполагалось при теоретическом решении задачи. Следует отметить, что, хотя коэффициент  $\eta$  и не учитывает волновой составляющей энергии, он является важной характеристикой энергетики удара. Энергия удара, соответствующая движению тел со скоростью центра масс, во многих проблемах имеет превалирующее значение.

На рис. 3 представлены кривые, характеризующие изменение коэффициента  $\eta$ .

Анализ расчетных значений коэффициента  $\eta$ , полученных по формулам (2) и (3), показывает, что в области  $1 < \kappa < 2$  эти значения практически совпадают, а при  $\kappa > 2$  они имеют один порядок точности.

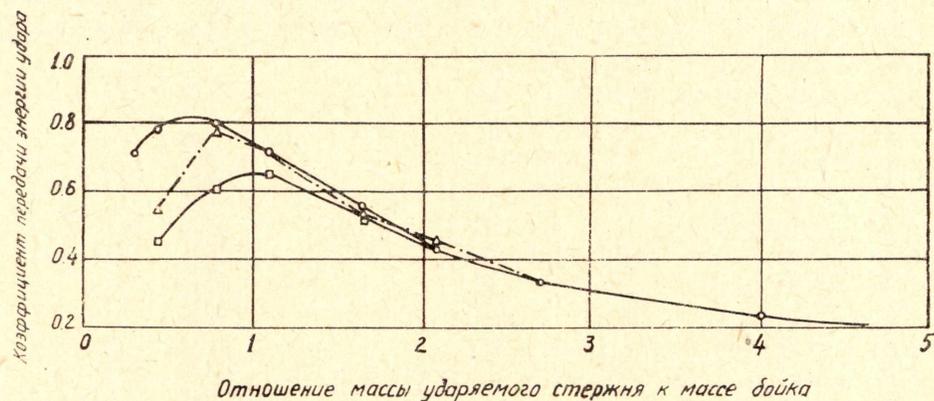


Рис. 3. Экспериментальные и теоретические значения коэффициента передачи энергии удара.  
 $\Delta$  — экспериментальная кривая;  
 $\square$  — кривая, соответствующая формуле (2);  
 $\circ$  — кривая, соответствующая формуле (3).

Экспериментальные значения коэффициента  $\eta$  достаточно согласуются с расчетными данными и при  $\kappa > 2$  кривые, соответствующие формулам (2) и (3), идентичны экспериментальной кривой. Как расчетные, так и экспериментальные кривые имеют максимум, отличный от единицы. При этом максимум экспериментальной кривой и кривой, соответствующей формуле (3), смещен в сторону значений  $\kappa < 1$ . Различия в значениях  $\eta$  имеет место в области  $\kappa < 1$ , где получение экспериментальным путем достаточно точных значений  $\eta$  при плоских торцах практически невозможно и экспериментальные значения коэффициента занижены. Характер изменения экспериментальной кривой даст основание предполагать, что в области  $\kappa < 1$  для получения коэффициента  $\eta$  должны быть приняты иные теоретические предпосылки, близкие к классической теории удара. Таким образом, рассмотрение волновых процессов в бойке на базе предпосылок одномерной теории распространения волн не вносит существенных уточнений в определение коэффициента передачи энергии удара. Рассмотрение бойка как твердого тела, проводимое в ряде исследований [3; 4], вполне возможно, при этом большее внимание должно быть обращено на обеспечение наиболее благоприятных условий ударного контакта бойка с хвостовиком бура. Возможности волновой теории удара весьма перспективны при углубленном исследовании распространения

волн напряжений и анализа энергетических потерь в буровых штангах, длина которых может быть достаточно велика.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. В. Беляев. Об оценке степени использования энергии удара в ударных машинах. ВНИИстройдормаш, вып. X, 1955.
  2. Н. А. Кильчевский. Теория соударений твердых тел. Гостехиздат, 1949.
  3. В. М. Мостков. Основы теории пневматического бурения. Углетехиздат, 1952.
  4. Механизмы и машины ударного, вращательного и вращательно-ударного действия. Межвузовский сборник трудов, вып. 1, Новосибирск, 1963.
-