

УДК 531.3,621.01

ВЛИЯНИЕ КОНТАКТНОЙ ЖЕСТКОСТИ БОЙКА НА РЕАКЦИИ В КОРОМЫСЛОВОЙ УДАРНОЙ СИСТЕМЕ

В.Э. Еремьянц Н.А. Колесников

На основе анализа модели коромысловой ударной системы установлено влияние контактной жесткости бойка на усилия в его контакте с наковальней и реакцию в опоре коромысла.

Ключевые слова: коромысловая ударная система; боек; наковальня; контактная жесткость; динамические реакции.

INFLUENCE OF THE STRIKER CONTACT RIGIDITY ON REACTIONS IN THE ROCKER IMPACT SYSTEM

V.E. Eremjants, N.A. Kolesnikov

The influence of the striker contact rigidity on forces in its contact with the anvil and reactions in the support of the rocker was found basing on the analysis of the rocker impact system.

Keywords: rocker impact system; striker; anvil; contact rigidity; dynamic reactions.

Настоящая работа является продолжением цикла работ авторов по исследованию динамических процессов, протекающих в коромысловых ударных системах при ударе. Коромысловая ударная система состоит из коромысла 1 (рисунок 1), вращающегося вокруг неподвижной опоры и бойка 2, расположенного на противоположном конце коромысла. При вращении коромысла боек наносит удар по наковальне 3. Такая система используется, например, в молоте ГУИМ-1 [1], предназначенном для сейсмического зондирования поверхностных слоев земли.

В предшествующих работах было определено влияние на динамические реакции, возникающие в коромысловых ударных системах, таких параметров как жесткость опоры коромысла [2], упругость коромысла [3], вид связи бойка с коромыслом [4]. Рассмотрено три вида связи: жесткая, шарнирная, упруго-шарнирная. Исследовано влияние косоугольного удара на динамические реакции, возникающие в системе [5].

Задача настоящей работы – установление влияния коэффициента жесткости контакта бойка с наковальней на максимальные значения ударной силы, реакции в опоре коромысла и времени удара.

В работе [2] показано, что при надлежащем выборе подшипников опоры коромысла её можно считать жесткой, при этом реакции, возникающие в опоре минимальные. Из исследований, проведен-

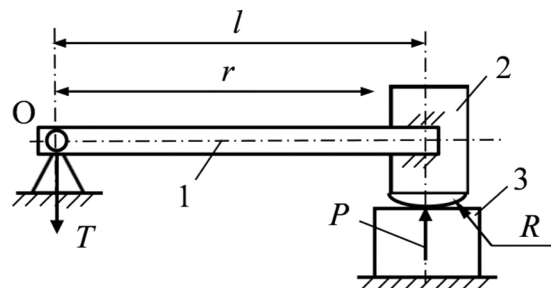


Рисунок 1 – Схема коромысловой ударной системы

ных в работе [3], следует, что упругость коромысла оказывает существенное влияние на возникающие в нем напряжения, но мало влияет на усилия в контакте бойка с коромыслом и реакции в опоре коромысла.

На основании этого при определении влияния коэффициента контактной жесткости бойка на параметры реакций, возникающих в системе при ударе, принималось, что опора коромысла жесткая, упругостью коромысла можно пренебречь, связь бойка с коромыслом жесткая. В этом случае боек с коромыслом представляется в модели как единое твердое тело.

Величина коэффициента контактной жесткости зависит от механических свойств материалов бойка и наковальни: модуля упругости E и коэффициента Пуассона μ , радиуса сферы ударной поверх-

ности бойка R , максимальной величины контактной силы P_m . Из результатов работы [6] следует, что контактная сила описывается функцией:

$$P = \frac{cV_0}{k} \sin kt, \quad (1)$$

где c – коэффициент жесткости контакта бойка с наковальной; V_0 – линейная скорость бойка в начальный момент удара; k – собственная частота колебаний коромысла с бойком; t – время.

Собственная частота колебаний определяется по формуле:

$$k = \sqrt{\frac{c}{mb}}; \quad b = \frac{I}{ml^2}, \quad (2)$$

где m – масса коромысла с бойком; l – расстояние от оси вращения коромысла до продольной оси наковальной; I – момент инерции коромысла с бойком относительно оси вращения.

Коэффициент жесткости контакта бойка с наковальной находился из линеаризованной контактной характеристики Герца для сферических тел [7]:

$$c = 1,25K^{2/3}P_m^{1/3}, \quad (3)$$

где

$$K = \frac{2E}{3(1-\mu^2)} \sqrt{R}. \quad (4)$$

Из формул (1), (2) следует, что максимальное значение контактной силы определяется по формуле:

$$P_m = V_0 \sqrt{cmb}. \quad (5)$$

Подставляя выражения (4), (5) в соотношение (3), после преобразований получим:

$$c = 1,25^{1,2} \left(\frac{2E}{3(1-\mu^2)} \right)^{0,8} (bmV_0^2)^{0,2} R^{0,4}. \quad (6)$$

С учетом последней зависимости максимальное значение контактной силы определится как

$$P_m = (1,25bmV_0^2)^{0,6} \left(\frac{2E}{3(1-\mu^2)} \right)^{0,4} R^{0,2}. \quad (7)$$

Если боек и наковальня выполнены из стали, то, учитывая, что для стали $E = 2,04 \cdot 10^{11}$ Па, $\mu = 0,3$, формулу (7) можно записать в виде:

$$P_m = 3,373 \cdot 10^4 (bmV_0^2)^{0,6} R^{0,2}. \quad (8)$$

Из формулы (8) следует, что максимальная сила удара зависит от массы бойка с коромыслом в степени 0,6, скорости удара в степени 1,2 и радиуса сферы ударной поверхности бойка в степени 0,2, т.е. максимальное значение ударной силы не пропорционально скорости удара. Это объясняется тем, что с увеличением скорости возрастает контактная жесткость бойка и наковальной. Формулу (8) можно трактовать и так, что максимальное зна-

чение ударной силы зависит от кинетической энергии бойка в степени 0,6.

Усилие в опоре коромысла при принятых допущениях определяется по формуле [7]:

$$T(t) = \left(1 - \frac{mrl}{I} \right) P(t). \quad (9)$$

Формула (9) показывает, что влияние радиуса сферы ударной поверхности бойка на реакцию в опоре коромысла такое же, как и на усилие в контакте бойка с наковальной.

Длительность удара определяется по формуле [6]:

$$\tau = \pi / k = \pi \sqrt{bm/c}. \quad (10)$$

В качестве примера на рисунке 2 показаны графики функции $c(R)$, $P(R)$ для молота ГУИМ-1, построенные при следующих исходных данных:

$$m = 522 \text{ кг } V_0 = 1 \text{ м/с, } l = 1,205 \text{ м, } \\ r = 1,13 \text{ м, } I = 708 \text{ кгм}^2.$$

На рисунках видно, что увеличение радиуса сферы ударной поверхности бойка приводит к росту коэффициента контактной жесткости и усилия в контакте бойка с наковальной. Например, при увеличении радиуса сферы вдвое – от 0,2 до 0,4 м, – коэффициент контактной жесткости возрастает на 15 %. При этом максимальные усилия в контакте бойка с наковальной увеличиваются на 20 %.

Отметим, что в существующей конструкции молота ГУИМ-1 радиус сферы ударной поверхности бойка равен 0,26 м. При скорости удара 1 м/с этому значению радиуса соответствует коэффициент контактной жесткости $2,287 \cdot 10^9$ Н/м и максимальное значение P_m , равное 1056 кН.

При иной скорости удара это значение силы следует умножить на величину скорости в степени 1,2.

На рисунке 3 приведены диаграммы зависимости собственной частоты колебаний бойка с коромыслом и длительности удара от радиуса R .

Из этих диаграмм следует, что с увеличением радиуса сферы от 0,2 до 0,4 м собственная частота возрастает на 15 %, а длительность удара уменьшается на 13 %.

В работе [2] показано, что величина реакции в упругой опоре коромысла зависит от отношения собственной частоты колебаний опоры к собственной частоте колебаний бойка $\delta = k_1/k$, где k_1 – собственная частота колебаний опоры:

$$k_1 = \sqrt{\frac{c_0}{m} \left(1 - \frac{mr^2}{I} \right)^{-1}},$$

c_0 – коэффициент жесткости опоры.

При величине отношения δ большем 9 с погрешностью, не превышающей 10 %, опору можно считать жесткой. Отсюда следует, что увеличение

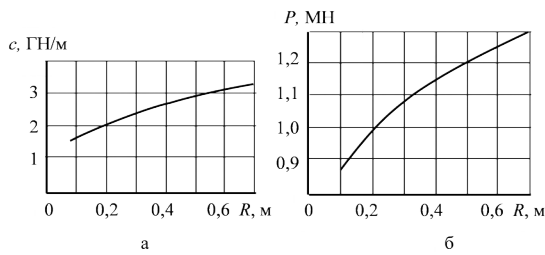


Рисунок 2 – Диаграммы зависимости коэффициента жесткости (а) и максимальной силы в контакте бойка с наковальней (б) от радиуса ударной поверхности бойка

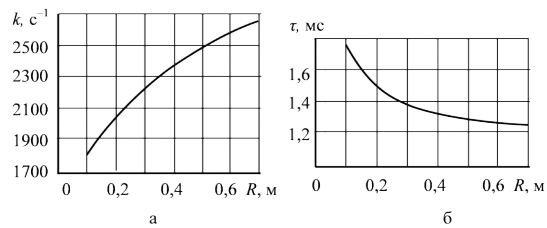


Рисунок 3 – Диаграммы зависимости собственной частоты колебаний бойка с коромыслом (а) и длительности удара (б) от радиуса сферы ударной поверхности бойка

собственной частоты k , вызванное увеличением радиуса R , может привести к снижению коэффициента δ до величины менее 9. В этом случае необходимо учитывать упругие свойства опоры, которые могут привести к увеличению динамических реакций в опоре. При значении δ , равном 1,6, эти реакции достигают максимальной величины, в 1,77 раз большей по сравнению с реакцией в жесткой опоре.

Таким образом, на основании полученных результатов можно сделать вывод, что, с одной стороны, увеличение радиуса сферы ударной поверхности бойка приводит к росту ударной силы, действующей на наковальню. Это является положительным качеством с точки зрения воздействия на обрабатываемый объект.

С другой стороны, из-за увеличения собственной частоты колебаний бойка может произойти возрастание динамических реакций в опоре коромысла, что нежелательно, поскольку это сокращает срок службы подшипников опоры. Полученные в данной работе формулы позволяют находить компромиссные решения при разработке конкретных конструкций и выборе радиуса сферы ударной поверхности бойка.

Литература

1. Зиялиев К.Ж. Кинематический и динамический анализ шарнирно-четырёхзвенных механизмов переменной структуры с созданием машин высокой мощности / К.Ж. Зиялиев. Бишкек: Илим, 2005. 196 с.
2. Еремьянц В.Э. Влияние жесткости опоры коромысла на динамические реакции в коро-

мысловой ударной системе / В.Э. Еремьянц, Н.А. Колесников // Современные проблемы теории машин / НОЦ «МС». Норт-Чарлстон: CreateSpace, 2016. № 4(1). С. 128–132.

3. Еремьянц В.Э. Влияние упругости коромысла на динамические реакции в коромысловой ударной системе / В.Э. Еремьянц, Н.А. Колесников // Автоматизированное проектирование в машиностроении: матер. III между. заочной научно-практич. конф. / НОЦ «МС». Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. № 3. С. 90–94.
4. Колесников Н.А. Влияние вида связи ударной массы с балкой коромысловой ударной системы на напряженное состояние балки / Н.А. Колесников // Современная техника и технологии в научных исследованиях: матер. 6-й между. конф. молодых ученых. Бишкек: Научная станция РАН, 2014. С. 180–186.
5. Еремьянц В.Э. Косой удар в коромысловой ударной системе / В.Э. Еремьянц, Н.А. Колесников // Статья в настоящем журнале.
6. Еремьянц В.Э. Исследование динамических нагрузок в элементах кривошипно-коромыслового ударного механизма ГУИМ-1 / В.Э. Еремьянц, К.П. Кислицын, Н.А. Колесников // Современные техника и технологии в научных исследованиях: матер. 4-й конф. молодых ученых и студентов. Бишкек: Научная станция РАН, 2012. С. 181–186.
7. Еремьянц В.Э. Динамика ударных систем. Моделирование и методы расчета / В.Э. Еремьянц. Саарбрюккен, Германия: Издательский дом Palmarium academic Publishing, 2012. 586 с.