



РАЗДЕЛ IV ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 651.73.06

Рей А. Р.

ВЛИЯНИЕ ПОДШАБОТНОЙ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ НА КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ УДАРА ШТАМПОВОЧНОГО МОЛОТА

Виброизоляция штамповочных молотов разрабатывалась с целью снижения вибрационной активности молота, которая приводила к разрушению самого молота, оборудования и строений на прилегающей территории, а так же отрицательно влияла на здоровье обслуживающего персонала. Вследствие этого вводились всё новые, более требовательные международные нормы [1] и ГОСТы [2] по вибрационной активности молотов. В Украине на настоящее время действуют государственные санитарные нормы по общей и локальной вибрации [3]. Это привело к внедрению молотов с виброизолированным фундаментом, однако стоимость этого технического решения составляла 40–60 % от стоимости самого молота. Внедрение же подшаботной виброизоляции вместо виброизолированного шабота позволило сократить расходы до 8–12 % от стоимости молота. Однако остался не выясненным факт влияния виброизолированного шабота на КПД молота.

Целью работы является определение влияния подшаботной виброизоляции шабота на КПД удара штамповочного молота.

Согласно данным А. И. Зимина [4], И. В. Климова [5], Л. И. Живова [6] при движении падающих частей вниз на цилиндр молота и, как следствие, на станину молота со стороны привода действует постоянная сила, величина которой определяется зависимостью:

$$P = F \cdot p_v - \alpha \cdot F \cdot p_n - P_m, \quad (1)$$

где F , $\alpha \cdot F$ – полная площадь поршня сверху и кольцевая снизу;

p_v , p_n – давление энергоносителя в верхней и нижней полостях цилиндра;

P_m – сила трения в направляющих падающих частей.

Падающие части не имеют кинематической связи с молотом, их движения происходят от силы, создаваемой энергоносителем (воздух или пар) в верхней, нижней полостях и силой тяжести падающих частей цилиндра. Согласно третьему закону Ньютона (сила действия равна силе противодействия) на цилиндр молота будет действовать сила, по величине определяемая по (1), направленная вверх. Уравнение движения молота под действием постоянной силы P (1) имеет вид:

$$m_2 x'' + kx' = P\eta(t), \quad (2)$$

где m_2 – масса молота с шаботом, сохранено обозначение, принятое в [4], [5], [6];

k – жесткость подшаботной виброизоляции;

$\eta(t)$ – единичная функция Хевисайта:

$$\eta(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0; \\ 0, & t < 0. \end{cases}$$

Разделим правую и левую часть уравнения (1) на m_2 , примем $\omega^2 = k/m_2$ и после прямого преобразования Лапласа [4] получим зависимость для определения $X(t)$ в пространстве изображений:

$$X(t) = \frac{P}{m_2} \cdot \frac{1}{s(s^2 - \omega^2)}. \quad (3)$$

И после обратного преобразования (3) по Лапласу [7] получим зависимость для определения перемещения молота в функции времени:

$$X = \frac{P}{\omega^2 m_2} \cdot (1 - \cos(\omega t)). \quad (4)$$

Продифференцировав (4) по времени с учетом того, что $\omega^2 = k/m_2$ получим следующую зависимость для определения скорости перемещения молота при движении падающих частей вниз:

$$X' = \frac{P\omega}{k} \cdot \sin(\omega t). \quad (5)$$

Скорость шабота изменяется по гармоническому закону и лежит в пределах её амплитудных значений:

$$-\frac{P\omega}{k} \leq X' \leq \frac{P\omega}{k}. \quad (6)$$

Проведя анализ изменения скорости (5), было получено:

$X' = 0$ при $\omega t = \pi n, n \in Z$ – шабот не подвижен;

$X' > 0$ при $2\pi n < \omega t < \pi(2n+1), n \in Z$ – шабот движется навстречу падающим частям;

$X' < 0$ при $\pi(2n-1) < \omega t < 2\pi n, n \in Z$ – шабот движется в одном направлении с падающими частями.

Впервые А. И. Зимин [4] привел зависимости для определения КПД удара молотов с неподвижной и подвижной нижней бабой (шаботом), которыми исследователи молотов пользуются до настоящего времени.

Нас интересует влияние виброизоляции на КПД удара. Определим зависимость для определения отношения КПД удара виброизолированного молота ($\eta_{y.в}$) к КПД удара не виброизолированного молота (η_y) на основе данных А. И. Зими́на:

$$\frac{\eta_{y.в}}{\eta_y} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{v_1^2 + \frac{m_2}{m_1} v_2^2}, \quad (7)$$

где m_1, m_2 – масса падающих частей молота и шабота;

v_1, v_2 – скорости падающих частей молота и шабота.

Выполним анализ отношений К.П.Д. для молота с не подвижным и подвижным шabo-
том с массой падающих частей 3 т, при следующих начальных условиях

$m_1 = 16 \cdot 10^3$ кг – масса бабы;

$m_2 = 44 \cdot 10^4$ кг – масса шaboта с молотом;

$k = 2 \cdot 10^8$ Н/М – жесткость виброизоляции;

$v = 6$ М/с – скорость бабы к началу удара;

$h = 1,5$ м – величина хода бабы;

$p = 16 \cdot 10^4$ Н – сила тяжести падающих частей;

$\omega = 21,3$ с⁻¹ – частота собственных колебаний шaboта.

Движение бабы под действием постоянной силы является равноускоренным. Время движения бабы сверху вниз находим из условия $t_0 = \frac{h}{2v}$. Амплитудное значение виброско-
рости будут равны:

$$v_{2a} = \pm \frac{P \cdot \omega}{k}. \quad (8)$$

После подстановки входящих в (8) значений физических величин получим

$$v_{2a} = \pm \frac{16 \cdot 10^4 \cdot 21,3}{2 \cdot 10^8} = \pm 0,017 \text{ М/с}.$$

Подстановкой в (7) амплитудного значения скорости шaboта при встречном движении, т. е. $v_2 = v_{2a} = 0,017$ М/с получим значение отношений КПД удара виброизолированного фундамента $\eta_{y.в}$ к КПД удара не виброизолированного молота равно 1,0054, для попутного движения (шaboт движется вниз) это отношение равно 0,9956, т. е. максимально возможное превышение КПД удара может достигать 054%, минимальное снижение так же 0,54 %.

Если амплитудное значение виброскорости выразить с учетом того, что $p \approx mg$;

$p = 16 \cdot 10^4$ Н, $\omega = \sqrt{k/m_2}$, то после подстановки в (8) и несложных преобразований получим:

$$v_{2a} = \frac{m_1}{m_2} g \cdot \frac{1}{\omega}, \quad (9)$$

и так как соотношение $\frac{m_1}{m_2}$ примерно одинаковые для всех молотов, а ω увеличивается с уменьшением мощности молота, то предельная граница изменения КПД удара молота не выйдет за предел $\pm 0,54$ %.

В реальном случае отношение КПД удара виброизолированного и не виброизолированного молотов будут отличаться не более чем на 0,54 %. В нашем случае для равноускоренного движения время хода падающих частей сверху вниз составит:

$$t_0 = 2h/v; \quad t_0 = 2 \cdot 1,5/6 = 0,5 \text{ с.}$$

После подстановки в (5) получим следующее значение виброскорости:

$$X' = \frac{16 \cdot 10^4 \cdot 21,3}{2,0 \cdot 10^8} \cdot \sin(21,3 \cdot 0,5) = 0,003 \text{ м/с.}$$

И после подстановки X' в (7) получим отношение КПД виброизолированного молота к не виброизолированному на уровне 1,001, т. е. больше, но достаточно близкое к 1,0. Это означает, что виброизоляция шабота молота не существенно влияет на КПД удара молота.

ВЫВОДЫ

Разработана математическая модель и уравнения движения шабота штамповочного молота перед ударом. Выполнен анализ отношений КПД виброизолированного молота и молота, установленного на жесткий фундамент, показано, что их отношение не превышает 0,54 %. Виброизоляция штамповочных молотов, удовлетворяющая требованиям санитарных норм, не оказывает существенного влияния на экономичность молота.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ISO 2631-5:2004. *Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks.*
2. ГОСТ 12.1.012-90. *Вибрационная безопасность. Общие требования.* – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 46 с.
3. *Державні санітарні норми виробничої загальної локальної вібрації. ДСН 3.3.6-039.99.* – Київ, 1999. – 47 с.
4. Земин А. И. *Машины и автоматы кузнечно-штамповочного производства. Часть 1. Молоты / А. И. Земин.* – М. : Изд-во Машигиз, 1953. – 459 с.
5. Климов И. В. *Виброизоляция штамповочных молотов / И. В. Климов, В. П. Кошилев, В. С. Носов.* – М. : Машиностроение, 1963. – 134 с.
6. Живов Л. И. *Кузнечно-штамповочное оборудование : учебник для вузов / Л. И. Живов, А. Т. Овчинников, Е. Н. Складчиков; под ред. Л. И. Живова.* – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 560 с.
7. Корн Г. *Справочник по математике для научных сотрудников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн.* – М. : Наука; Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 831 с.

Рей А. Р. – аспирант ВНУ им. В. Даля.

ВНУ – Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, г. Луганск.

E-mail: reyantt@gmail.com

Статья поступила в редакцию 10.02.2012 г.