

РАЗДЕЛ IV ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 651.73.06

Рей А. Р.

БЕСШАБОТНЫЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ МОЛОТ С ДВУСТОРОННИМ ПРИВОДОМ И УВЕЛИЧЕННОЙ МАССОЙ НИЖНЕЙ БАБЫ

Бесшаботные молоты относятся к наиболее мощному оборудованию по производству штампованных поковок. Основным недостатком молотов с гидравлической связью хода баб является наличие гармонической составляющей в уравнениях движения баб.

В учебной литературе по кузнечно-штамповочному оборудованию [1–3] рассмотрены бесшаботные вертикальные молота с пневматическим приводом и гидравлической связью баб одинаковой массы с точки зрения принципиального действия и энергии удара, уравнения движения не приводятся. В последнее время в технической литературе имеется информация о технических решениях молотов с нижним [4] и верхним [5] приводом, уравнения движения верхней и нижней баб приведены в работах [6], [7]. В гидравлических бесшаботных молотах с односторонним приводом на уравнения движения баб, которые представлены параболами, накладываются гармонические составляющие, содержащие косинус-функции, что приводит к пульсирующему повышению давления жидкости в гидробаке у молотов с верхним приводом и в сторону понижения давления у молотов с нижним приводом. Наличие гармонических составляющих у скоростей, которые находятся в противофазе, приводит к неопределенности в направлении совместного движения баб в конце нагрузочной фазы удара.

Целью работы является составление уравнений движения баб молота с двусторонним приводом и увеличенной массой нижней бабы, определение условия отсутствия гармонической составляющей в перемещениях и скоростях баб у молота с двусторонним приводом (рис. 1).

При увеличенной массе нижней бабы площади плунжеров узла гидросвязи определяются по зависимости:

– суммарная площадь двух боковых плунжеров:

$$S_1 = \frac{m_1 g}{p_{cm}}; \quad (1)$$

– площадь нижнего плунжера:

$$S_2 = \frac{m_2 g}{p_{cm}}, \quad (2)$$

где m_1, m_2 – массы верхней и нижней баб;

g – ускорение свободного падения;

p_{cm} – давление жидкости в гидробаке при неподвижных бабах.

Жесткость опоры плунжеров узла гидросвязи на жидкость определяется по зависимости:

$$C_6 = \frac{S_1^2 \cdot E}{V}; \quad C_n = \frac{S_2^2 \cdot E}{V}, \quad (3)$$

где $C_в$, $C_н$ – жесткости опоры жидкости под боковыми и нижним амортизаторами соответственно;

S_1, S_2 – суммарная площадь боковых плунжеров верхней бабы и площадь плунжера нижней бабы, соответственно;

E – модуль упругости жидкости в гидробаке;

V – объем жидкости в гидробаке.

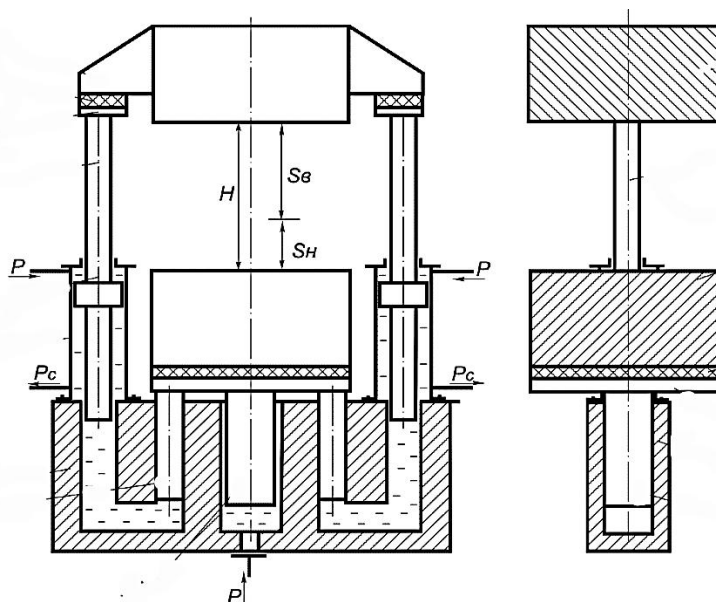


Рис. 1. Вертикальный гидравлический молот с двусторонним приводом:

$S_в, S_н$ – ход верхней и нижней бабы; H – общий ход; P – рабочее давление;

P_c – давление слива

Приведенная жесткость узла гидросвязи хода баб определяется по зависимости:

$$K_1 = \frac{C_1 \cdot C_в \cdot C_2 \cdot \frac{S_1}{S_2}}{C_1 \cdot C_в + C_в \cdot C_2 \cdot \frac{S_1}{S_2} + C_1 \cdot C_2 \cdot \frac{S_1}{S_2}},$$

$$K_2 = \frac{C_1 \cdot C_н \cdot C_2 \cdot \frac{S_2}{S_1}}{C_1 \cdot C_н \cdot \frac{S_2}{S_1} + C_н \cdot C_2 + C_1 \cdot C_н \cdot \frac{S_2}{S_1}}, \quad (4)$$

где K_1 – жесткость опоры верхней бабы;

K_2 – жесткость опоры нижней бабы;

C_1, C_2 – жесткости амортизаторов верхней и нижней баб.

С учетом условия неразрывности струи уравнения движения баб представим в виде:

$$m_1 x_1'' + k_1 \cdot \left(x_1 - x_2 \cdot \frac{S_2}{S_1} \right) = F_1 \cdot \eta(t),$$

$$m_2 x_2'' + k_2 \cdot \left(x_2 - x_1 \cdot \frac{S_1}{S_2} \right) = F_2 \cdot \eta(t), \quad (5)$$

где F_1, F_2 – сила привода верхней и нижней баб;

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

$$\eta(t) = \begin{cases} 1, t \geq 0, \\ 0, t < 0. \end{cases} \quad (6)$$

Переведем уравнение (5) в пространство изображений [8]:

$$\begin{aligned} X_1 \cdot (m_1 p^2 + k_1) - X_2 \cdot k_1 \cdot \frac{s_2}{s_1} &= F_1 \cdot \frac{1}{p}, \\ -X_1 \cdot k_2 \cdot \frac{s_1}{s_2} + X_2 \cdot (m_2 p^2 + k_2) &= F_2 \cdot \frac{1}{p}. \end{aligned} \quad (7)$$

Решив (7) относительно X_1 и X_2 , получим:

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{\frac{F_1}{p} (m_2 \cdot p^2 + k_2) + \frac{F_2}{p} \cdot k_1 \cdot \frac{s_2}{s_1}}{m_1 \cdot m_2 \cdot p^2 + k_1 \cdot m_2 \cdot p^2 + k_2 \cdot m_1 \cdot p^2}, \\ X_2 &= \frac{\frac{F_1}{p} \cdot k_2 \cdot \frac{s_1}{s_2} + \frac{F_2}{p} (m_1 \cdot p^2 + k_1)}{m_1 \cdot m_2 \cdot p^2 + k_1 \cdot m_2 \cdot p^2 + k_2 \cdot m_1 \cdot p^2}. \end{aligned} \quad (8)$$

После перевода (8) в пространство оригиналов получим уравнения движения баб в функции времени:

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{F_1 \cdot k_2 + F_2 \cdot k_1 \cdot \frac{s_2}{s_1}}{k_1 \cdot m_2 + k_2 \cdot m_1} \cdot \frac{t^2}{2} + \frac{F_1 \cdot k_1 \cdot m_2^2 \cdot s_1 - F_2 \cdot k_1 \cdot m_2 \cdot m_1 \cdot s_2}{(k_1 \cdot m_2 + k_2 \cdot m_1)^2} \cdot (1 - \cos(\omega t)), \\ X_2 &= \frac{s_1}{s_2} \cdot \frac{F_1 \cdot k_2 + F_2 \cdot k_1 \cdot \frac{s_2}{s_1}}{k_1 \cdot m_2 + k_2 \cdot m_1} \cdot \frac{t^2}{2} + \frac{F_2 \cdot k_2 \cdot m_1^2 \cdot s_2 - F_1 \cdot k_2 \cdot m_2 \cdot m_1 \cdot s_1}{(k_1 \cdot m_2 + k_2 \cdot m_1)^2} \cdot (1 - \cos(\omega t)). \end{aligned} \quad (9)$$

Гармонические составляющие в уравнениях движения баб (9) будут отсутствовать при условии равенства нулю коэффициентов при $1 - \cos(\omega t)$, т. е.

$$\begin{cases} \frac{F_1 \cdot k_1 \cdot m_2^2 \cdot s_1 - F_2 \cdot k_1 \cdot m_2 \cdot m_1 \cdot s_2}{(k_1 \cdot m_2 + k_2 \cdot m_1)^2} = 0, \\ \frac{F_2 \cdot k_2 \cdot m_1^2 \cdot s_2 - F_1 \cdot k_2 \cdot m_2 \cdot m_1 \cdot s_1}{(k_1 \cdot m_2 + k_2 \cdot m_1)^2} = 0. \end{cases} \quad (10)$$

После несложных математических преобразований (12) найдем следующее соотношение сил:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{m_1 \cdot s_2}{m_2 \cdot s_1}, \quad (11)$$

Сопоставляя (1), (2), находим, что $\frac{m_1}{s_1} = \frac{m_2}{s_2}$, и после учета (11) находим, что $F_1 = F_2 = F$. Это означает, что при приложении к бабам одинаковых сил, бабы в любое время движения на удар будут обладать одинаковым количеством движения:

$$F \cdot t = m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2, \quad (12)$$

что обеспечивает остановку баб при ударе независимо от их начального положения и высоты поковки.

При двустороннем приводе и одинаковых силах, приложенных к обеим бабам, уравнения движения баб примут вид:

$$X_1 = \frac{F_1 \cdot k_2 + F_2 \cdot k_1 \cdot \frac{s_2}{s_1} \cdot t^2}{k_1 \cdot m_2 + k_2 \cdot m_1} \cdot \frac{t^2}{2},$$

$$X_2 = \frac{s_1}{s_2} \cdot \frac{F_1 \cdot k_2 + F_2 \cdot k_1 \cdot \frac{s_2}{s_1} \cdot t^2}{k_1 \cdot m_2 + k_2 \cdot m_1} \cdot \frac{t^2}{2}. \quad (13)$$

Дифференцируя (13) по времени, получим уравнения для определения скорости баб:

$$X'_1 = \frac{F_1 \cdot k_2 + F_2 \cdot k_1 \cdot \frac{s_2}{s_1}}{k_1 \cdot m_2 + k_2 \cdot m_1} \cdot t,$$

$$X'_2 = \frac{s_1}{s_2} \cdot \frac{F_1 \cdot k_2 + F_2 \cdot k_1 \cdot \frac{s_2}{s_1}}{k_1 \cdot m_2 + k_2 \cdot m_1} \cdot t. \quad (14)$$

Дифференцируя (14), получим уравнение для определения ускорений баб:

$$X''_1 = \frac{F_1 \cdot k_2 + F_2 \cdot k_1 \cdot \frac{s_2}{s_1}}{k_1 \cdot m_2 + k_2 \cdot m_1},$$

$$X''_2 = \frac{s_1}{s_2} \cdot \frac{F_1 \cdot k_2 + F_2 \cdot k_1 \cdot \frac{s_2}{s_1}}{k_1 \cdot m_2 + k_2 \cdot m_1}. \quad (15)$$

Определим некоторые параметры молота при следующих начальных условиях – масса верхней бабы $m_1 = 20$ т, масса нижней бабы $m_2 = 40$ т, модуль упругости жидкости $E = 2 \cdot 10^9$ Па. Вследствие того, что верхняя баба перемещается вниз (на удар) в режиме

свободного падения, максимальное значение ее ускорения не может превышать $9,8 \text{ м/с}^2$, примем $j_g = 0,9g = 8,8 \text{ м/с}^2$. Жесткость боковых и центральных амортизаторов $C_1 = C_2 = 3 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$, ход верхней бабы $1,6 \text{ м}$, ход нижней бабы $0,8 \text{ м}$, объем гидробака $1,0 \text{ м}^3$.

По изложенным зависимостям определены следующие параметры: жесткость опоры жидкости под боковыми амортизаторами $C_a = 3 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$, под нижним амортизатором $C_n = 12 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$. Приведенная жесткость узла гидросвязи для верхней бабы равна $K_1 = 1,2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$, для нижней бабы $K_2 = 1,7 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$, после подстановки в (15) $X''_1 = 8,8 \text{ м/с}^2$ определена действующая на каждую из баб сила $F = 176 \text{ кН}$, время прямого холостого хода на удар $t = 0,6 \text{ с}$, скорость верхней бабы к удару $X'_1 = 5,28 \text{ м/с}$, нижней бабы $X'_2 = 2,64 \text{ м/с}$. Энергия удара составляет 418 кДж , что соответствует энергии удара шаботного молота с массой падающих частей около 25 т , у которого масса шабота не меньше 500 т . У эквивалентного по энергии шаботного молота суммарная масса соударяющихся частей составляет не менее 525 т против 60 т у рассмотренного бесшаботного. Следует также отметить отсутствие генерации последующих ударных вибраций у бесшаботного молота, которые имеют место у шаботных молотов.

ВЫВОДЫ

Разработаны зависимости для расчета параметров движения баб для бесшаботного молота с увеличенной массой нижней бабы при площадях плунжеров гидросвязи пропорциональным массам баб.

Показано, что при приложении к бабам со стороны привода одинаковых сил при прямом холостом ходе, бабы в любой момент времени обладают одинаковым количеством движения, при ударе происходит остановка баб, молот обладает минимальной вибрационной активностью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Живов Л. И. Кузнечно-штамповочное оборудование. Прессы / Л. И. Живов, А. Г. Овчинников. – К. : Вища школа, 1985. – 280 с.
2. Банкетов А. Н. Кузнечно-штамповочное оборудование : учебник для машиностроительных вузов / А. Н. Банкетов, Ю. А. Бочаров, Н. С. Добринский. – М. : Машиностроение, 1982. – 576 с.
3. Живов Л. И. Кузнечно-штамповочное оборудование : учебник для вузов / Л. И. Живов, А. Г. Овчинников, Е. Н. Складчиков ; под ред. Л. И. Живова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 560 с.
4. Пат. 41181 Україна, МПК В21j7/00. Молот безшаботний вертикальний гідравлічний / Рей А. Р., Рей М. Р. – № U200814019 ; заявл. 05.12.08 ; опубл. 12.05.09, Бюл № 9.
5. Пат. 30386 Україна, МПК В21j7/00. Безшаботний вертикальний гідравлічний молот / Рей А. Р. – № U200711894 ; заявл 29.10.07 ; опубл. 25.02.08, Бюл № 4.
6. Рей Р. И. Определение реакций подвижной системы безшаботного молота. / Р. И. Рей // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2008. – № 1 (19). – С. 339–341.
7. Рей А. Р. Кинематика холостого хода бесшаботного гидравлического вертикального молота / А. Р. Рей, М. Р. Рей // Вісник СХУ ім. В. Даля. – Луганськ, 2010. – № 3 (145). – Ч. 2. – С. 55–60.
8. 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 им. В. Даля – Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, г. Луганск.

E-mail: reyantt@gmail.com