

Тайшубекова А.Ж., старший преподаватель, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева
 Навийхан Б., преподаватель, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева
 Рахимов А.Б., преподаватель, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева
 Бакижанова Д.С., преподаватель, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева

К ВОПРОСУ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ УДАРА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МОЛОТА ПРОСТОГО ДЕЙСТВИЯ

Түйіндеме

Бұл мақалада қарапайым әрекетті гидробалғаның соққы энергиясын анықтау әдісінің бірі қарастырылған. Қарапайым әрекетті гидробалғаның серпімді элемент динамикалық үлгісі келтірілген, гидробалғаның жұмыс үрдісінің периоды қарастырылған. Алынған есеп үлгісі гидробалғаның геометриялық параметрлердің нақты мәндері кезінде тиімді серіппені анықтауға мүмкіндік береді.

Summary

In the article we will consider one of methods for determining the blow energy of hydrohammer of simple action. The dynamic model of hydrohammer of simple action with an elastic element is given, the periods of working process of hydrohammer are considered. The received model of calculation is allows to define optimal springs at the concrete values of geometrical parameters of hydrohammer.

Для проведения теоретических исследований примем динамическую модель гидромолота простого действия с упругим элементом (рисунок 1).

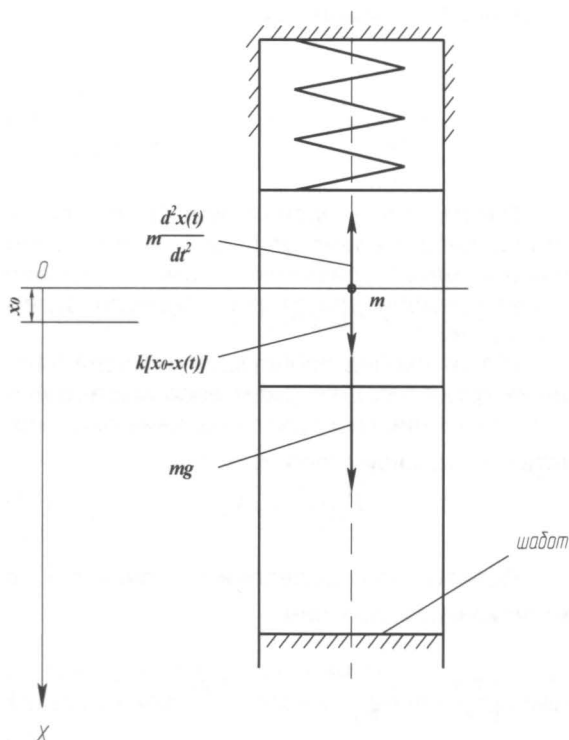


Рисунок 1 - Динамическая модель гидромолота

На рисунке через m обозначена ударная масса, равная сумме масс груза и поршня со штоком. Систему будем рассматривать, как имеющую одну степень свободы, а именно

движение массы груза по вертикальной линии. За начало координат примем точку O , которая соответствует крайнему верхнему положению центра тяжести массы m при предварительном сжатии пружины на величину x_0 . При включении гидромолота в работу начинается движение груза вниз до нижнего положения до соударения его с шаботом.

Процесс работы гидромолота делим на три периода. Первый период включает в себя время движения груза вниз под действием внешних сил на расстояние, равное длине l_0 предварительного сжатия пружины. Второй период – время свободного падения груза до соприкосновения его с шаботом. В третьем периоде осуществляется холостой ход груза – принудительный подъем его в первоначальное положение.

Рассмотрим первый период ($0 \leq t \leq t_1$). В этот период движение груза осуществляется под действием силы тяжести mg , силы упругости пружины $k[x_0 - x(t)]$ и силы инерции массы m , равной $m \frac{d^2x(t)}{dt^2}$. Силами

трения в системе, а также, силой сопротивления вытекающей на слив жидкости пренебрегаем считая, что проходное сечение сливного магистрала достаточно большим. В приведенных выражениях g – ускорение свободного падения груза, k – жесткость пружины, $x(t)$ – путь, проходимый грузом во время движения, t – время.

Дифференциальное уравнение движения груза молота в первый период времени записывается в виде

$$m \frac{d^2}{dt^2} x(t) - kx_0 + kx(t) - mg = 0. \quad (1)$$

Уравнение (1) линейное неоднородное с постоянными коэффициентами.

Определив корни характеристического уравнения $p_1 = i \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}$; $p_2 = -i \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}$ и применяя метод неопределенных коэффициентов для определения частного уравнения, находим уравнение перемещения груза молота, как решение исходного уравнения, в виде

$$x(t) = C_1 \cos \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t + C_2 \sin \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t + \frac{gm}{k} + x_0. \quad (2)$$

Отсюда закон изменения скорости перемещения

$$\dot{x}(t) = -C_1 \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot \sin \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t + C_2 \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot \cos \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t. \quad (3)$$

Коэффициенты C_1 и C_2 определим из начальных условий первого периода. В начале периода груз молота находится в неподвижном состоянии. Следовательно, при $t=0$ $x(t) = 0$ и $\dot{x}(t) = 0$.

Подставляя в уравнения (2) и (3) значения $x(t)$, $\dot{x}(t)$ при $t = 0$, получим систему уравнений для определения C_1 и C_2 :

$$\begin{aligned} C_1 + \frac{gm}{k} + x_0 &= 0; \\ C_2 \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{Отсюда } C_1 = -\frac{gm}{k} - x_0; C_2 = 0.$$

Тогда окончательное решение уравнения (1), представляющее закон изменения пути перемещения груза гидравлического молота будет

$$x(t) = -\left(\frac{gm}{k} + x_0\right) \cdot \cos \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t + \frac{gm}{k} + x_0. \quad (5)$$

Скорость перемещения груза гидравлического молота

$$\dot{x}(t) = \left(\frac{gm}{k} + x_0\right) \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot \sin \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t. \quad (6)$$

Уравнение для определения времени t_1 окончания первого периода запишем из условия равенства пути, пройденного массой груза, длине предварительного сжатия пружины x_0 , т.е.

$$-\left(\frac{gm}{k} + x_0\right) \cdot \cos \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t_1 + \frac{gm}{k} + x_0 = x_0. \quad (7)$$

Решая это уравнение относительно t_1 , находим

$$t_1 = \frac{1}{\sqrt{\frac{k}{m}}} \cdot \arccos\left(\frac{gm}{gm + kx_0}\right) = \sqrt{\frac{m}{k}} \cdot \arccos\left(\frac{gm}{gm + kx_0}\right) \quad (8)$$

Тогда скорость в конце первого периода

$$V_1 = \dot{x}(t_1) = \left(\frac{gm}{k} + x_0\right) \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot \sin \left[\arccos\left(\frac{gm}{gm + kx_0}\right) \right]. \quad (9)$$

Энергия, аккумулированная грузом в конце первого периода

$$E = \frac{mV_1^2}{2} = \frac{\left(\frac{gm}{k} + x_0\right)^2}{2} \cdot k \cdot \sin^2 \left[\arccos\left(\frac{gm}{gm + kx_0}\right) \right]. \quad (10)$$

Рассмотрим второй период. Второй период охватывает время от t_1 до t_2 , при котором ударная масса ударяется о шабот. Условно отсчет времени для второго периода будем вести от нуля.

В этот период происходит свободное падение груза под действием веса груза. Запишем уравнение свободного падения груза молота с начальной скоростью V_1 :

$$V_2(t) = V_1 + gt. \quad (11)$$

Подставляя определенное значение V_1 в это уравнение, получим

$$V_2(t) = \left(\frac{gm}{k} + x_0\right) \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot \sin \left[\arccos\left(\frac{gm}{gm + kx_0}\right) \right] + gt. \quad (12)$$

Для получения закона изменения пути перемещения груза молота в рассматриваемый период проинтегрируем уравнение (12).

$$x_2(t) = \int V_2(t) dt = \left\{ \left(\frac{gm}{k} + x_0 \right) \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot \sin \left[\arccos \left(\frac{gm}{k} + x_0 \right) \right] \right\} \cdot t + g \frac{t^2}{2} + C_3. \quad (13)$$

Постоянную интегрирования C_3 находим из начального условия второго периода. Во втором периоде при

$$t = 0, \quad x_2(0) = x_1(t_1) = x_0.$$

Приравнявая x_0 правую часть уравнения (19) и решая полученное относительно C_3 , находим, что $C_3 = x_0$. Тогда окончательно

$$x_2(t) = \left\{ \left(\frac{gm}{k} + x_0 \right) \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot \sin \left[\arccos \left(\frac{gm}{k} + x_0 \right) \right] \right\} \cdot t + g \frac{t^2}{2} + x_0. \quad (14)$$

Время t_2 опускания груза до нижнего положения определим из условия

$$x_2(t_2) = l - x_0, \text{ т.е.}$$

$$\left(\frac{gm}{k} + x_0 \right) \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot \sin \left[\arccos \left(\frac{gm}{k} + x_0 \right) \right] \cdot t_2 + g \frac{t_2^2}{2} + x_0 = l - x_0. \quad (15)$$

Решая полное квадратное уравнение (15) относительно t_2 , приняв положительный знак перед корнем, получим (16):

$$t_2 = \frac{- \left(\frac{gm}{k} + x_0 \right) \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot \sin \left[\arccos \left(\frac{gm}{k} + x_0 \right) \right] + \sqrt{\left(\frac{gm}{k} + x_0 \right)^2 \cdot \frac{k}{m} \cdot \sin^2 \left[\arccos \left(\frac{gm}{k} + x_0 \right) \right] - 2 \cdot g \cdot (2 \cdot x_0 - l)}}{g}$$

$$+ \frac{\sqrt{\frac{k}{m} \cdot \left(\frac{gm}{k} + x_0 \right)^2 \cdot \sin^2 \left[\arccos \left(\frac{gm}{k} + x_0 \right) \right] - 2 \cdot g \cdot (2 \cdot x_0 - l)}}{g}$$

Энергия удара груза молота в момент соприкосновения его с шаботом определяется по формуле

$$E = \frac{m \cdot V_2^2(t_2)}{2}. \quad (17)$$

Подставив значения t_2 и $V_2(t_2)$ в это уравнение, получим:

$$E = \frac{m \cdot V_2^2(t_2)}{2} = \frac{m}{2} \cdot \left\{ \frac{k}{m} \left(\frac{gm}{k} + x_0 \right)^2 \cdot \sin^2 \left[\arccos \left(\frac{gm}{k} + x_0 \right) \right] - 2g(2x_0 - l) \right\}. \quad (18)$$

Полученные формулы дают возможность определить оптимальные параметры пружины при конкретных значениях геометрических параметров гидромолота. При помощи полученной формулы проведены исследования влияния отдельных параметров гидромолота, в частности жесткости k и величины предварительного сжатия x_0 , на величину энергии удара E , результаты которых не представлены из-за ограниченности объема статьи.

Анализ полученных результатов показал, что при увеличении жесткости пружины энергия удара повышается. Значение предварительного сжатия пружины оказывает качественное влияние на величину энергии удара. Каждой жесткости пружины соответствует оптимальная величина ее предварительного сжатия.

Список использованной литературы

1. Сагинов А.С., Кичигин А.Ф., Лазуткин А.Г., Янцен И.А. Гидропневмоударные системы исполнительных органов и горных и строительно-дорожных машин. – М.: Машиностроение, 1980. – 200 с.
2. Беляев Н.М. Сборник задач по сопротивлению материалов: Учебное пособие для вузов. – 10-е изд. – М.: Наука. 1966 – 348 с.
3. Александров Е.В., Соколинский В.Б. Прикладная теория и расчеты ударных систем. - М.: Наука, 1969. - 199 с.