

“УДАРНЫЕ НАГРУЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ КШМ.”

Ударные нагрузки в машине возникают во всех случаях, когда имеется относительная скорость движения деталей к моменту их соприкосновения и процесса перехода кинетической энергии в потенциальную энергию деформирования. Ударные процессы сопровождаются возникновением нагрузок, в 10 и 1000 раз превышающих расчетные, в результате удара в детали возникают весьма сложные процессы и никакие количественные оценки не позволяют дать определение удара.

Механическим ударом называется явление, возникающее при столкновении двух или более тел и сопровождающееся полным или частичным переходом кинетической энергии этих тел в их упругое деформирование.

В настоящее время для решения вопросов теории удара применяются три приближенных метода расчета:

- 1) Классический метод Ньютона, который исходит из предположения, что соударяющиеся тела являются абсолютно твердыми и что имеет место быть равенство количества движения до и после удара.
- 2) Метод Герца: подразумевает, что тела являются твердыми, а области контакта являются упругими.
- 3) Комбинированный метод: сочетает статические решения теории упругости для приконтактной зоны и метода плоской волны для остальной части соударяющегося тел.
- 4) Метод плоской волны Сен-Венана: предполагает, что поверхность контакта плоская и все точки на поверхности контакта обоих тел находятся в одинаковых условиях. Также скорости и напряжения в каждом сечении волны постоянны.

“Комбинированный метод анализа ударного нагружения КШМ.”

Удар характеризуется:

- 1) величиной силы удара;
- 2) длительностью удара;
- 3) распределением силы удара.

Удар определяется:

- 1) реакцией материала тела;
- 2) формой тела.

Ударная энергия не передается мгновенно всем частям тела. Следует различать фронт ударной волны, т.е. границу между напряженной и ненапряженной частями тела, и длину волны, т.е. расстояние, которое проходит фронт волны за время удара.

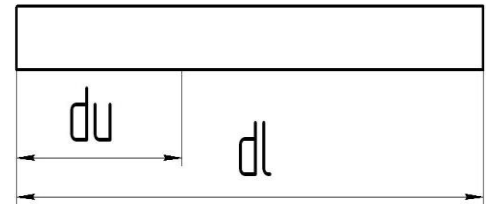
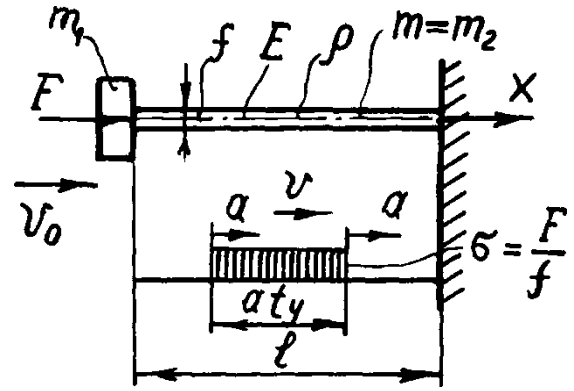
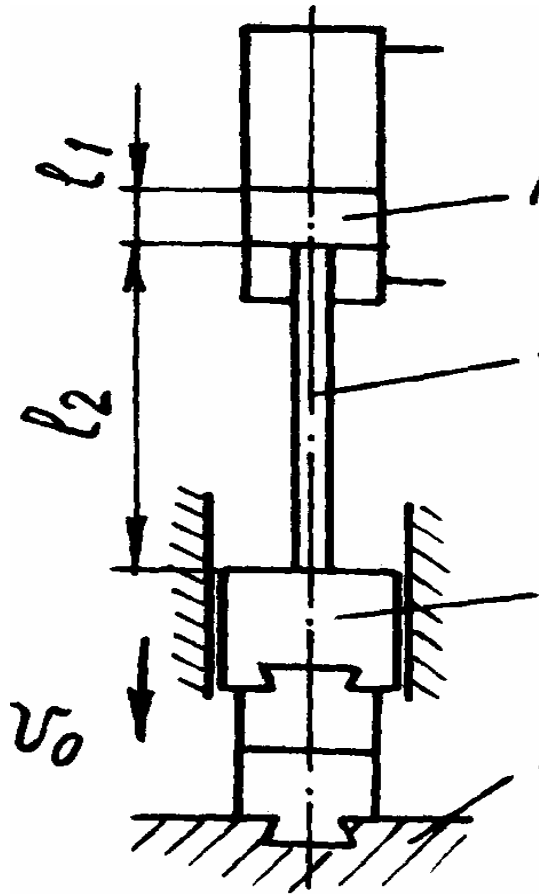
Принимаем условие плоского продольного соударения двух изотропных тел.

При исследовании ударного процесса применяют метод суперпозиции:

- 1) волны (ударные) проходят одна сквозь другие без всякого влияния друг на друга.
- 2) направления и скорости волн векторно складываются.

“Рассмотрим модель ударного нагружения упругого штока молота поршня.”

Рассматриваем распространение ударной волны по штоку.



F - ударная сила от поршня к штоку, мгновенное нагружение
 a - скорость фронта ударной волны
 $a \cdot t_y$ - длина волны
 t_y - время удара
 f - площадь поперечного сечения штока.

du - деформация сжатого слоя

$$V = \frac{du}{dt} ; \quad a = \frac{dl}{dt}$$

$$\frac{\sigma}{E} = \varepsilon = \frac{du}{dl} \quad \sigma = \varepsilon \times E$$

$$V = \frac{du}{dt} \times \frac{dl}{dl} = \frac{\sigma}{E} \times a \quad V = \frac{\sigma}{E} \times a$$

V - скорость перемещения частиц в сжатом слое

Для сжатого слоя уравнение количества движения:

$$dm \times V = F \times dt$$

$$dm = \rho \times V = f \times dl \times \rho$$

$$f \times dl \times \rho \times \frac{F}{E \times f} \times a = F \times dt$$

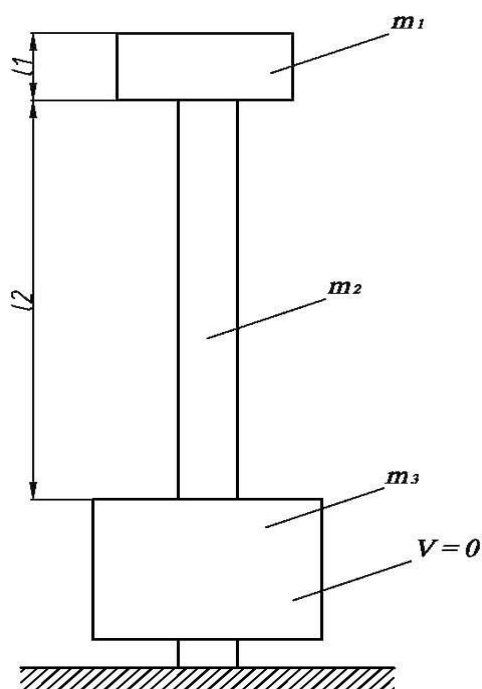
$$\rho \times \frac{dl}{dt} \times \frac{1}{E} \times a = 1 \quad \frac{\rho}{E} \times a^2 = 1 \quad a = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad V = \frac{\sigma}{\sqrt{E \times \rho}}$$

Выводы:

1) Скорость перемещения частиц зависит от свойств материала, а именно: от модуля Юнга и плотности и от силы удара, которая характеризуется напряжением.

2) Скорость распространения фронта ударной волны не зависит от силы удара, а зависит только от свойств материала.

1-ый случай: Рассмотрим удар штока о бабу молота.

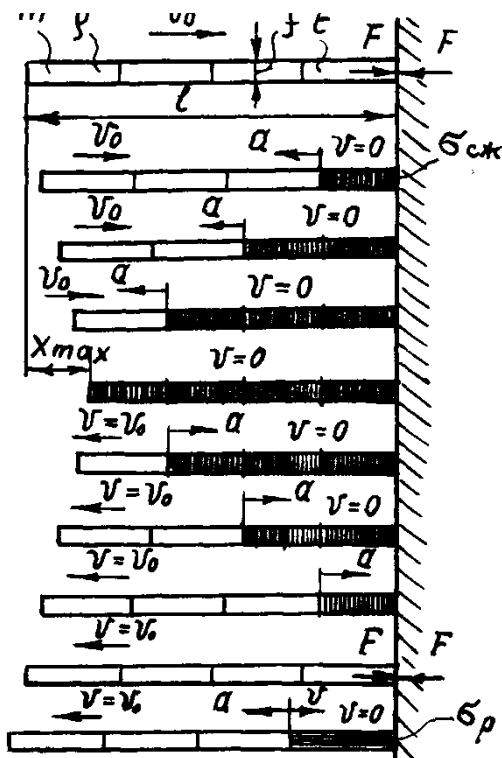
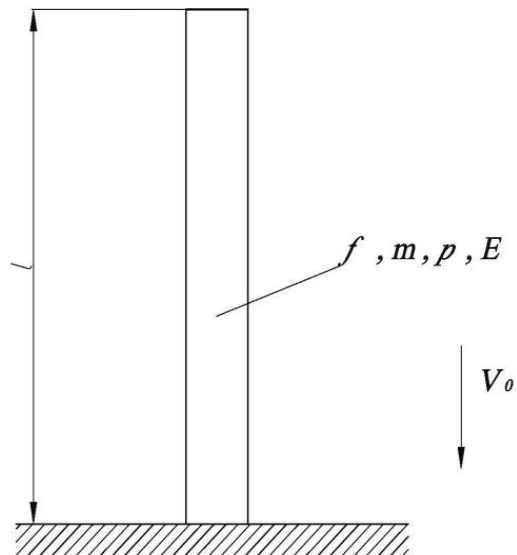


Принимаем удар бойков, как абсолютно холодным, т.е. баба внезапно остановилась и ее скорость равна 0.

Допущения:

1. Потерями энергии пренебрегаем.
2. Принимаем, что удар штока происходит о абсолютно жесткую плиту.
3. Ударное нагружение от поршня не учитываем.

Получаем модель:



Перед ударом все сечения штока перемещаются со скоростью V_0 .

При столкновении штока с неподвижной бабой, конец штока останавливается, а его остальная часть продолжает движение со скоростью V_0 .

Напряжения, возникающие в стержне, распространяются со скоростью звука:

$$a = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Рассмотрим состояние штока в промежутке времени $t = l/4a$.

При распространении волны, сжатой от места контакта, каждое сечение штока в момент прохода фронта волна останавливается. волне сжатия направление скорости перемещения частиц совпадает с направлением распространения волны.

“Определение параметров ударного нагружения через параметры штока.”

$$a = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \sqrt{\frac{Efl}{m}}$$

Время удара состоит из: времени ударного нагружения и времени ударной разгрузки.

$$t_{H(P)} = \frac{l}{a} = \sqrt{\frac{m \times l}{E \times f}}$$

Максимальная деформация штока:

$$X_{MAX} = V_0 \times t_H = V_0 \sqrt{\frac{m \times l}{E \times f}}$$

$$\sigma = \frac{l}{a} \times V = V \sqrt{\frac{m \times E}{l \times f}}$$

V – скорость перемещения частиц в штоке

Максимальная сила удара определяется с учетом жесткости штока:

$$F_{MAX} = X_{MAX} \times C = \frac{f}{l} \times E \times V_0 \sqrt{\frac{m \times l}{E \times f}} = V_0 \sqrt{\frac{m \times E \times f}{l}}$$

$$F_{MAX} = V_0 \sqrt{\frac{m \times E \times f}{l}}$$

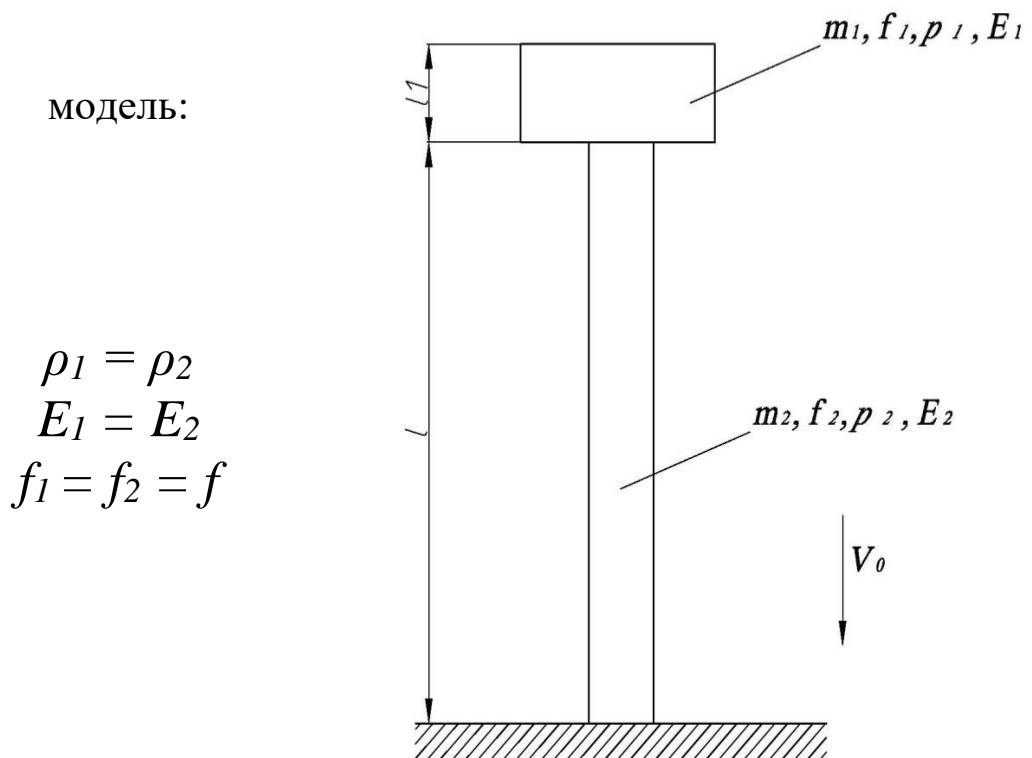
$$F_{MAX} = \sigma \times f$$

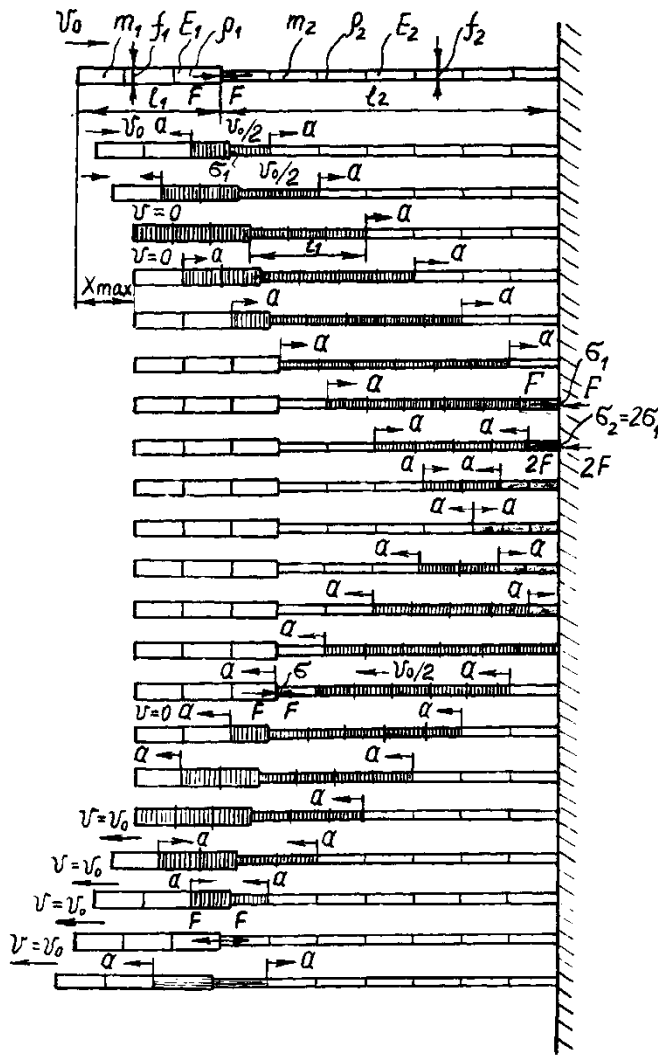
Скорость перемещения частиц металла в штоке равна скорости штока перед ударом.

2-ой случай: Рассмотрим удар поршня о шток.

Допущения:

- 1) Потерями энергии пренебрегаем.
- 2) Шток упирается в неподвижную плиту.
- 3) Предполагается, что перед ударом шток неподвижен.
- 4) площадь сечения поршня равна площади сечения штока.





Позиция 3 - время ударного нагружения.

$$t_{\text{УН}} = \frac{l_1}{a} \quad X_{\text{MAX}} = \frac{2l_1}{a} \times V_0$$

Позиция 4 - левый фронт волны отразился от акустической жесткости и ударная волна $2 \times l_1$ пошла вправо.

Позиция 7 - правый фронт ударной волны достигает контакта штока с бабой (место контакта).

Позиция 8 - происходит отражение фронта ударной волны и наложение прямой волны на обратную.

$$\sigma = \frac{2F}{f}$$

В месте контакта штока и бабы напряжение увеличивается в 2 раза.

Позиция 10 - два фронта ударной волны встретились. Силы и напряжения векторно складываются.

Позиция 13 - начало перемещения обоих фронтов ударной волны влево.

Позиция 14 - в зоне контакта поршня и штока возникает сила **F** и напряжение σ .

Позиция 20 - поршень и шток находятся в исходном положении: перемещаются с начальной скоростью v_0 .

Позиция 21 – все сначала.

Выводы:

1) Интенсивность напряжений штока в месте контакта с бабой в 2 раза больше, чем интенсивность напряжений в месте контакта поршня и штока.

2) Время ударного нагружения поршня со штоком и поршня с бабой зависит от длины поршня l_1 и не зависит от длины штока l_2 .

3) Суммарное время удара поршня со штоком: $t_{уд} = \frac{4l_1}{a}$

4) Время контакта поршня и штока с нагружением и без нагружения зависит, как от длины поршня, так и от длины штока.

5) Время контакта поршня со штоком без ударного нагружения:

$$t_{кп} = \frac{2(l_2 - l_1)}{a}$$

Время контакта поршня со штоком с ударным нагружением:

$$t_{укп} = \frac{2(l_2 + l_1)}{a}$$

5) После контакта поршень перемещается в противоположном направлении с начальной скоростью v_0 , а шток неподвижен.

6) Удвоение напряжений в штоке делает это сечение наиболее опасным в системе молота.

“Максимально допустимая скорость удара.”

Напряжения в штоке прямо пропорциональны скорости штока до удара и зависит от материала штока:

$$\sigma = v_0 \sqrt{E\rho}$$

Если вместо напряжения σ поставить показатель ударного нагружения σ_y , то можно определить допустимую скорость соударения штока и поршня.

Для стали 40ХН: $\sigma_y = 130$ МПа, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа,

$\rho = 7,9 \cdot 10^3$ кг/м³, следовательно $v_{дон} = 7,75$ м/с

В реальных условиях часть энергии расходуется на упруго-пластическую деформацию поковки, что необходимо учитывать при проектировании молотов, поэтому:

$$v_{max\ дон} = 7 \text{ м/с}$$

Комбинированный метод исследования ударного нагружения позволяет определить все параметры удара, такие как: время удара, деформацию соударения тел, скорость перемещения и т.д.