

## “Жесткость КШМ.”

Жесткость КШМ – один из важнейших показателей КШМ, влияющий на точность штампуемых поковок.

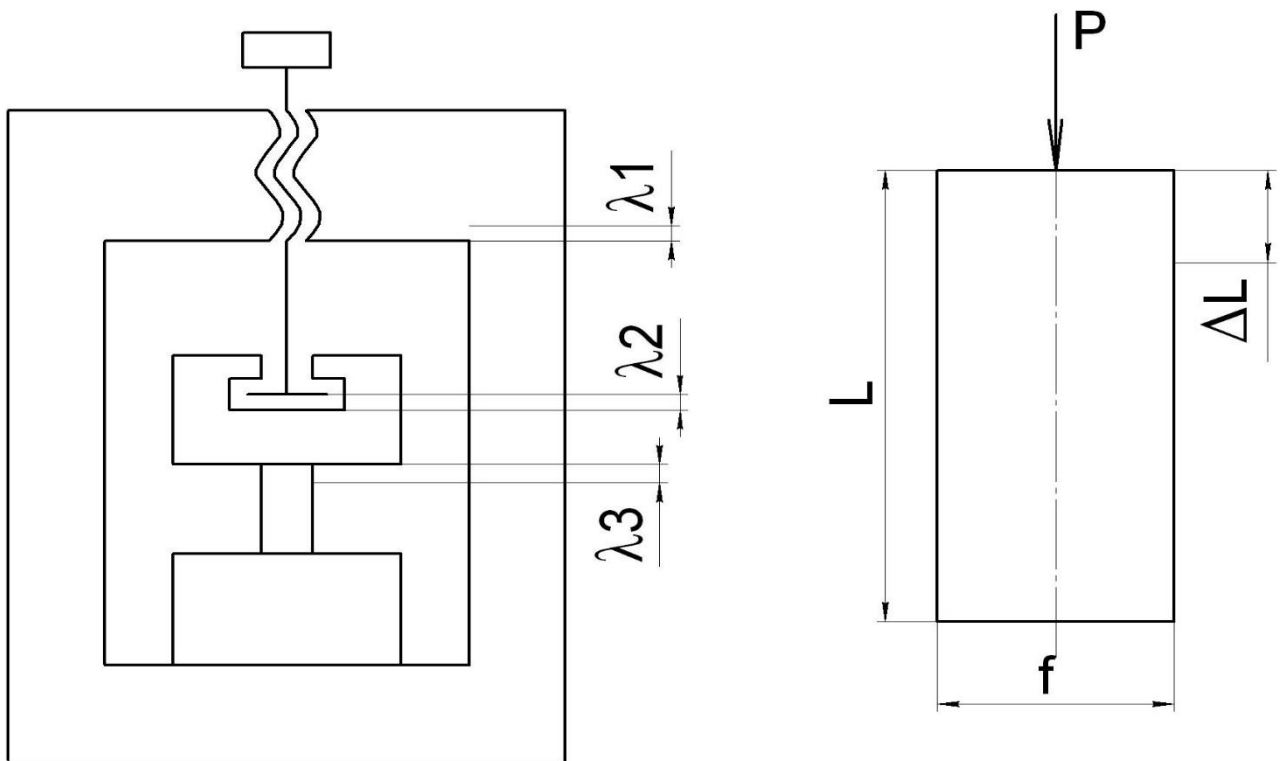
Жесткость КШМ – отношение технологической нагрузки к упругой деформации, которую эта нагрузка вызвала.

В КШМ выделяю три вида жесткости:

- 1) Линейная
- 2) Угловая (жесткость на кручение)
- 3) Изгибная

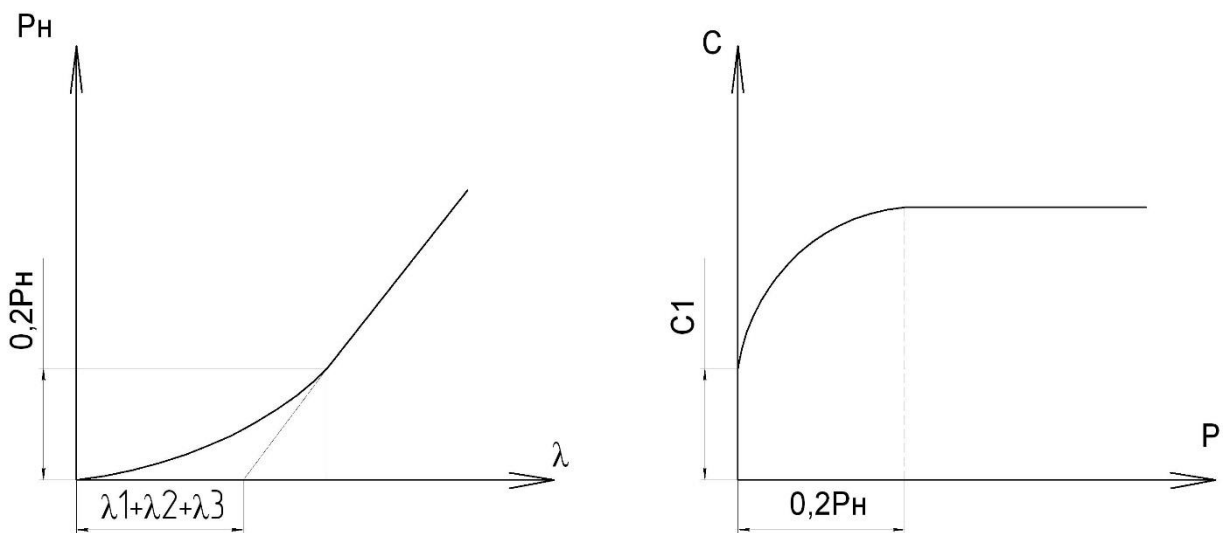
### “Линейная жесткость”

$$C = \frac{P}{\lambda} ; \quad \lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$$



$$\sigma = \frac{P}{f} = \frac{\Delta L}{L} \times E \quad C = \frac{f}{L} \times E$$

$C$  – жесткость



Жесткости различных конструкций технологического назначения:

КГШП:  $P_H = 6,3-125$  МН,  $C = 3840-19600$  МН/м

Листоштамповочные прессы:  $P_H = 2,5-7,5$  МН,  $C = 1000-2500$  МН/м

Чеканочные прессы:  $P_H = 2-40$  МН,  $C = 2000-8000$  МН/м

Винтовые прессы:  $P_H = 4-100$  МН,  $C = 940-4700$  МН/м

Выбор жесткости машины определяется точностью штампуемых поковок на этой машине.

Рис. 1

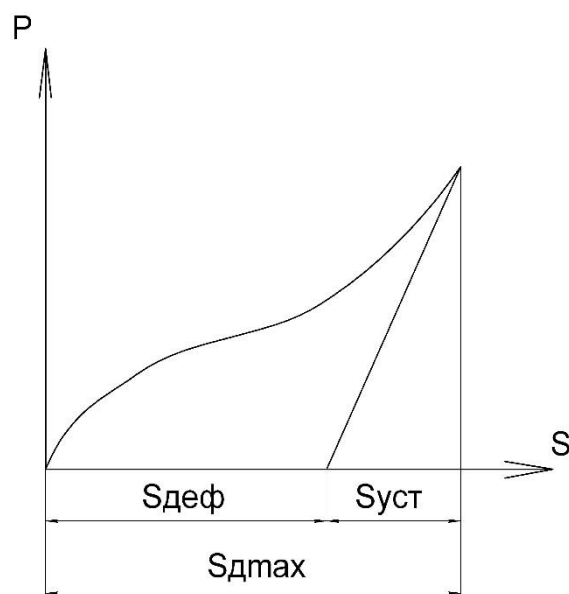
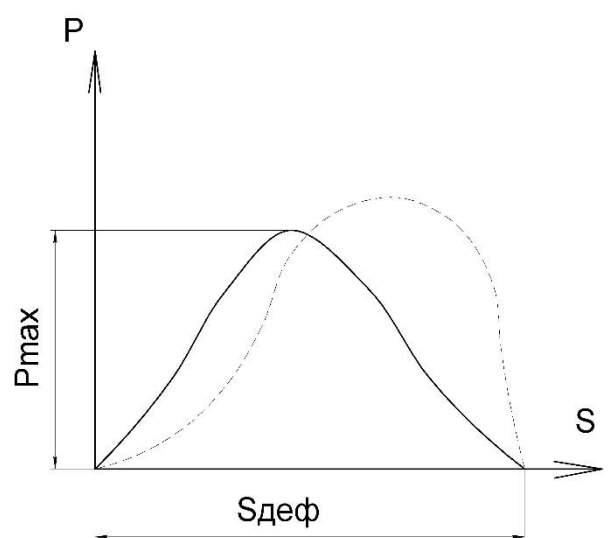


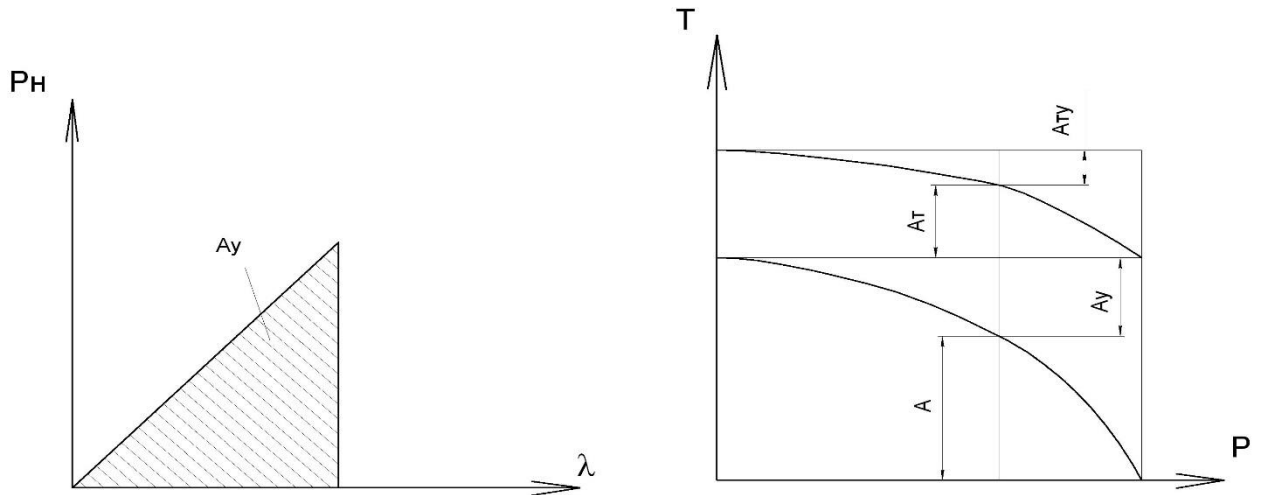
Рис.2



С учетом упругой деформации прессы перемещение ползуна прессы  $S_{ДМАХ}$  больше необходимого хода деформирования  $S_{ДЕФ}$ . на величину упругой деформации машины.  $P_{МАХ}$  значительно различается для поковок в зависимости от разброса температуры, массы, от условий трения. ( Рис.1)

Упругая деформация прессы равна 0. На точность штампуемой детали показатель жесткости никак не влияет. (Рис.2)

### “Влияние жесткости на энергетические параметры прессы”



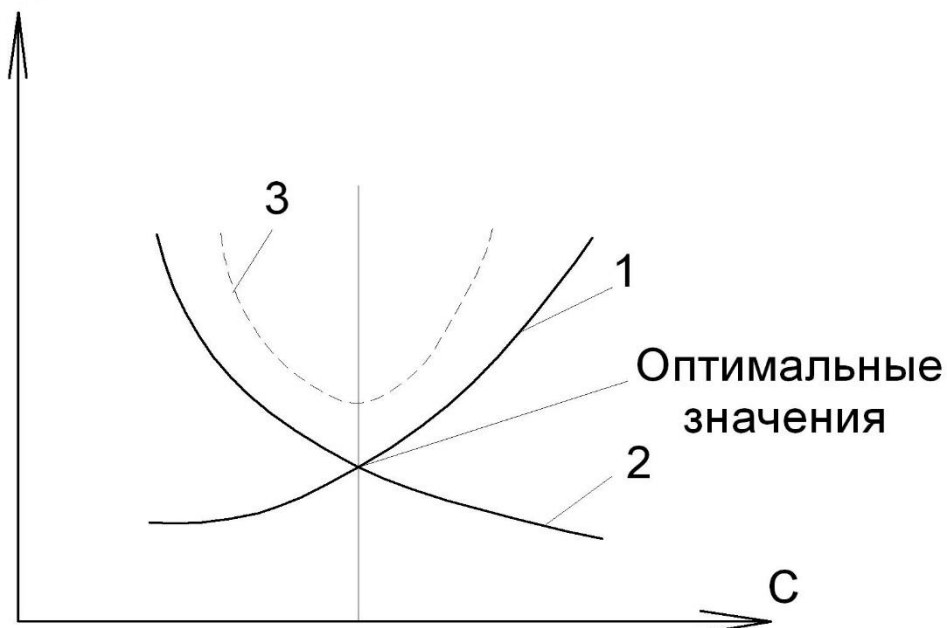
В общем случае энергия, затраченная на технологический процесс деформирования, равна работе самой деформации, работе упругой деформации и работе сил трения.

$$A_y = \frac{1}{2} \times P \times \lambda = \frac{P^2}{2C} \quad \lambda = \frac{P}{C}$$

Потеря энергии на упругую деформацию пропорциональна квадрату силы и обратно пропорциональна жесткости.

Существует ограничение на жесткость КШМ, обусловленное материалоемкостью машин с большой жесткостью. Нужно находить “золотую середину” между жесткостью и материалоемкостью (затратами).

### Затраты



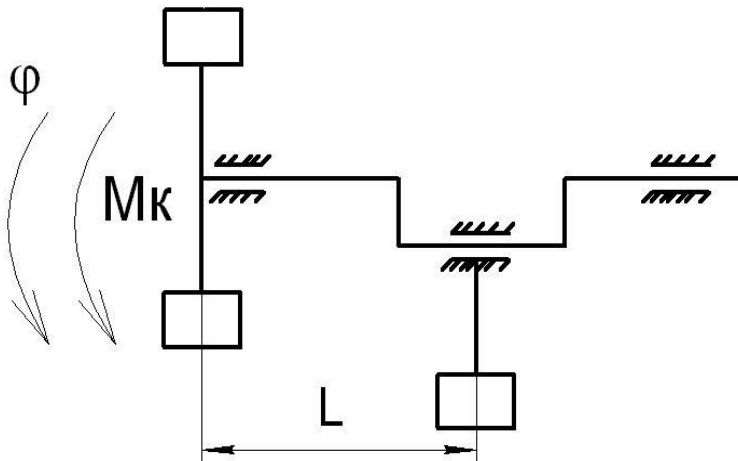
1 – затраты на металлоконструкцию, повышающиеся при увеличении жесткости

2 – затраты при эксплуатации прессы, уменьшающиеся в связи с уменьшением потерь на упругую деформацию.

3 – идеальный график.

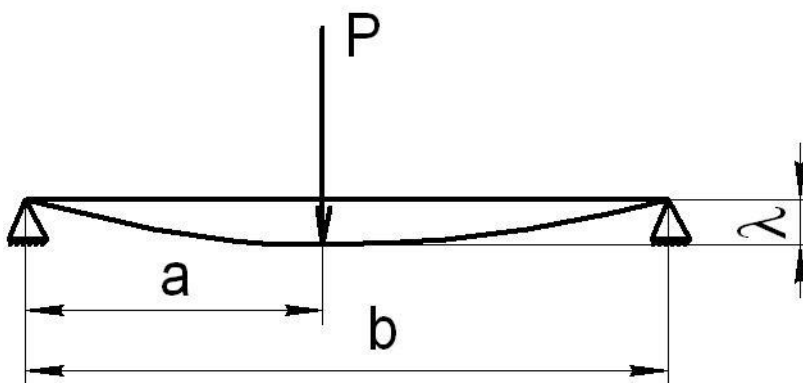
### “Угловая жесткость”

Отношение крутящего момента к упругой деформации, вызванной этим моментом.



$$C_V = \frac{M_K}{\varphi}$$

### “Изгибная жесткость”

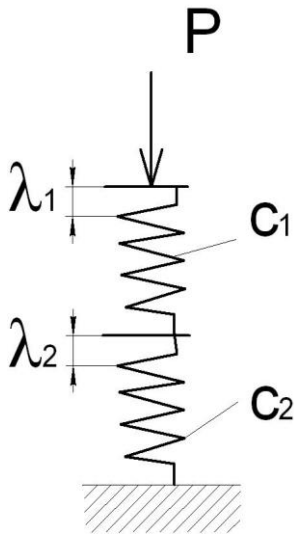


$$C_H = \frac{P}{\lambda} \quad \lambda = \frac{P \times a^2 \times b^2}{3 \times E \times J \times (a+b)}$$

## “Приведение жесткостей”

Используется принцип равенства работ или равенства упругих деформаций систем с приведенной или приводимой жесткостями.

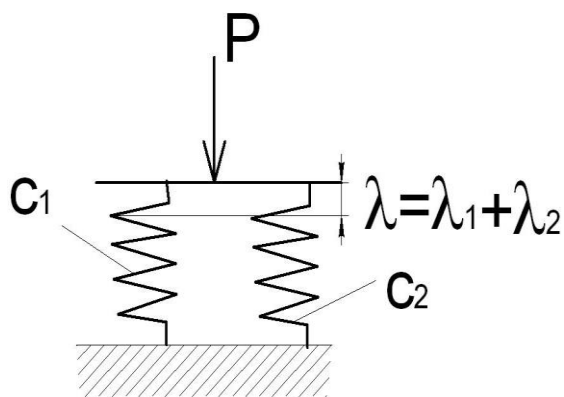
### Приведение систем с линейными жесткостями.



$$A_{y1} = \frac{P^2}{2C_1} ; A_{y2} = \frac{P^2}{2C_2} ; A = A_{y1} + A_{y2} = \frac{P^2}{2C_1} + \frac{P^2}{2C_2}$$

$$C = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

### Приведение систем с параллельными жесткостями.

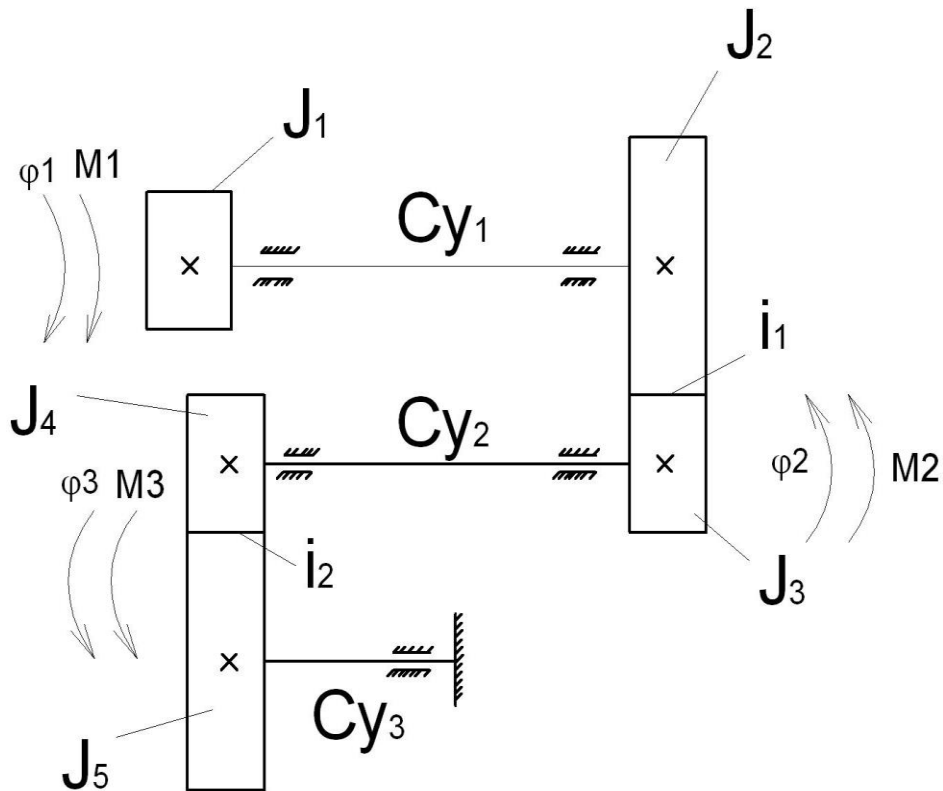


$$\frac{P^2}{2C} = \frac{P_1^2}{2C_1} + \frac{P_2^2}{2C_2} ; C_1 = \frac{P_1}{\lambda_1} ; C_2 = \frac{P_2}{\lambda_2}$$

$$P_1 = C_1 \times \lambda \quad P_2 = C_2 \times \lambda$$

$$\frac{(C \times \lambda)^2}{2C} = \frac{(C_1 \times \lambda)^2}{2C_1} + \frac{(C_2 \times \lambda)^2}{2C_2} \quad C = C_1 + C_2$$

### “Приведение угловых жесткостей”



$$\frac{M^2}{2C_y} = \frac{M_1^2}{2C_{y1}} + \frac{M_2^2}{2C_{y2}} + \frac{M_3^2}{2C_{y3}} ; M_2 = M_1 \times i_1 ; M_3 = M_1 \times i_1 \times i_2$$

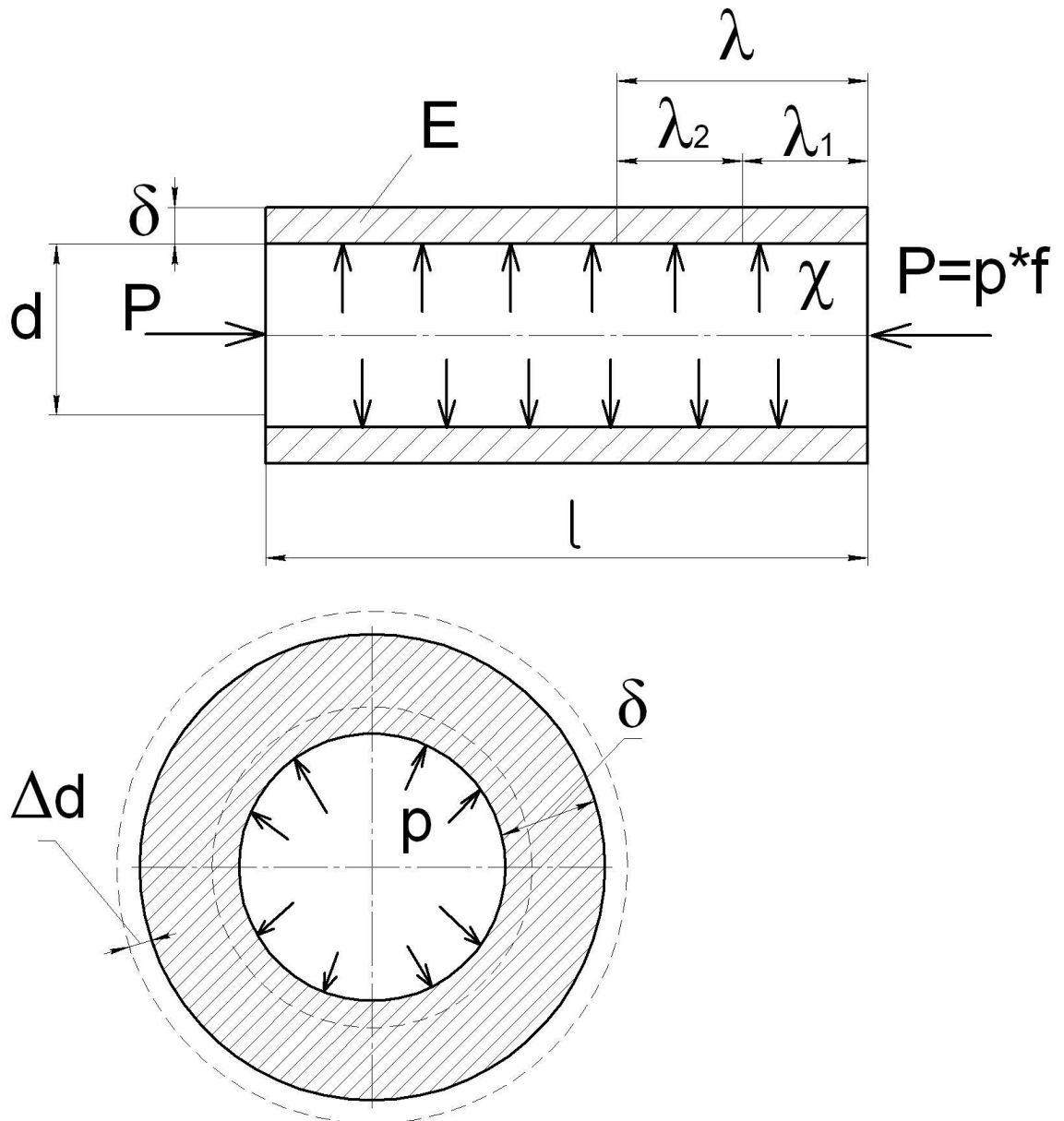
$$\frac{M^2}{2C_y} = \frac{M_1^2}{2C_{y1}} + \frac{(M_1 \times i_1)^2}{2C_{y2}} + \frac{(M_1 \times i_1 \times i_2)^2}{2C_{y3}}$$

$$C_y = \frac{C_{y1} \times C_{y2} \times C_{y3}}{C_{y2} \times C_{y3} + C_{y1} \times C_{y3} \times i_1^2 + C_{y1} \times C_{y2} \times i_1^2 \times i_2^2}$$

### “Приведение жесткости гидромеханического звена.”

Для возникновения давления в данном участке трубопровода прикладывается сила Р. Под действием этой силы жидкость упруго деформируется (сжимается на величину  $\lambda_1$ ). Под действием давления в системе происходит упругое растяжение поперечного сечения трубопровода.

Расчетная схема:



$\Delta d$  – смещение внутреннего радиуса трубы.

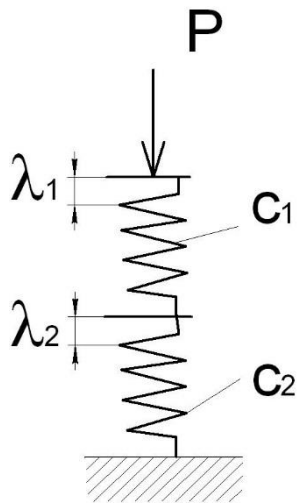
Под действием давления труба деформируется и ее внутренний диаметр увеличивается на  $\Delta d$ . Внутренний объем системы также увеличивается, что ведет собой увеличение деформации столба жидкости, равной  $\lambda_2$ .

$\lambda_1$  – упругая деформация столба жидкости

$\lambda_2$  – изменение длины столба жидкости от упругой деформации трубы

$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$

$$C_1 = C_{\text{Ж}} = \frac{P \times f}{\lambda_1}; \quad C_2 = C_{\text{ТР}} = \frac{P \times f}{\lambda_2} \quad C = \frac{C_{\text{Ж}} \times C_{\text{ТР}}}{C_{\text{Ж}} + C_{\text{ТР}}}$$



1) Определение жесткости жидкостного звена.

$$p = \frac{\chi \times \Delta V_{\text{ж}}}{V}$$

$\chi$  – модуль объемной упругости жидкости

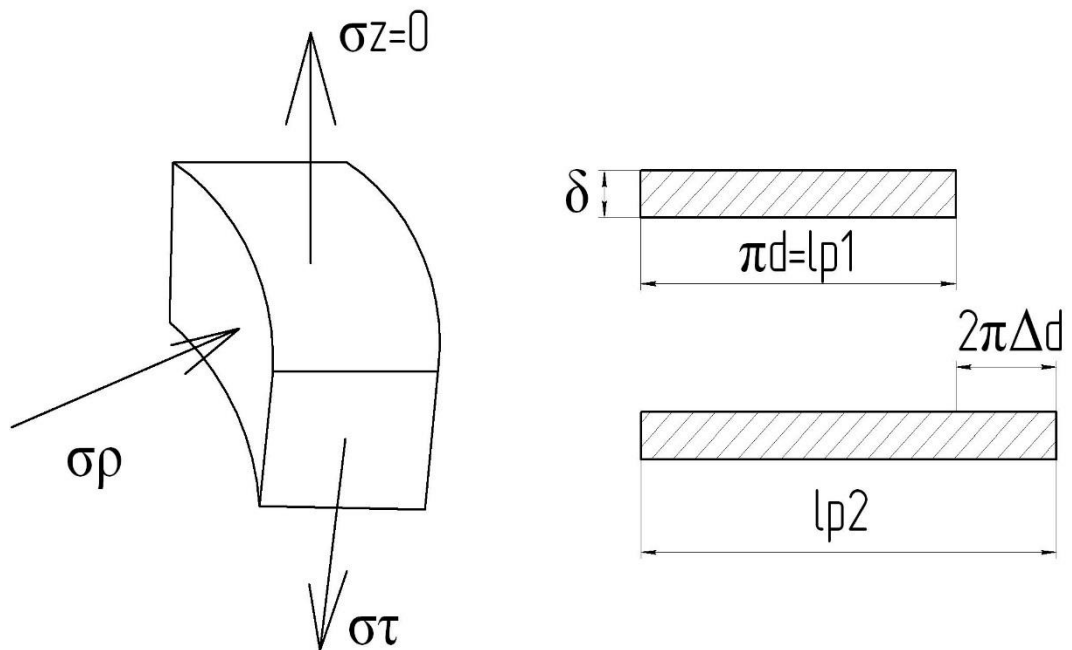
$\Delta V_{\text{ж}}$  – изменение объема жидкости

$V$  – начальный объем жидкости

$$\lambda_1 = \frac{\Delta V_{\text{ж}}}{f} = \frac{P \times V}{\chi} \times \frac{4}{\pi \times d^2} = \frac{P \times L}{\chi}$$

$$C_{\text{ж}} = \frac{P \times f}{\lambda_1} = \frac{P \times f}{P \times L} \times \chi = \frac{f \times \chi}{L} ; \quad C_{\text{ж}} = \frac{f \times \chi}{L}$$

2) Определение жесткости звена от упругой деформации трубы.





Для тонкостенных труб:

$$\sigma = \frac{P \times d}{2 \times \delta} ; \quad \sigma_p = \frac{P \times d}{4 \times \delta}$$

$P$  – давление

$\delta$  – толщина стенки

$\varepsilon_r$  - относительное удлинение внутреннего диаметра трубы

$$l_{p1} = \pi d \quad l_{p2} = \pi(d+2\Delta d)$$

$\pi(d+2\Delta d) - \pi d = 2\Delta d \pi$  – удлинение трубы (абсолютное)

$$\varepsilon_r = 2\Delta d \pi / \pi d = 2\Delta d/d$$

$$\frac{P \times d}{2 \times \delta} = \frac{2\Delta d}{d} \times E ; \quad \Delta d = \frac{p \times d^2}{4 \times \Delta \times E}$$

$$\Delta V_{TP} = \pi d \times \Delta d \times L = \pi \times d \times \frac{p \times d^2}{4 \times \delta \times E} \times L = p \times f \times \frac{L \times d}{\delta \times E}$$

$$\Delta V_{TP} = p \times f \times \frac{L \times d}{\delta \times E}$$

$$\lambda_2 = \Delta V_{TP} / f = p \times \frac{L \times d}{\delta \times E}$$

$$C_{TP} = \frac{P \times f}{\lambda_2} = \frac{E \times f \times \delta}{d \times L}$$

$$C_{TP} = \frac{E \times f \times \delta}{d \times L}$$

Полная жесткость:

$$C = \frac{C_{Ж} \times C_{TP}}{C_{Ж} + C_{TP}} = \frac{\frac{f \times \chi}{L} \times \frac{f \times E \times \delta}{d \times L}}{\frac{f \times \chi}{L} + \frac{f \times E \times \delta}{d \times L}} = \frac{f}{L} \times \frac{\chi}{\left(1 + \frac{d}{\delta} \times \frac{\chi}{E}\right)}$$

$$C = \frac{f}{L} \times \frac{\chi}{\left(1 + \frac{d}{\delta} \times \frac{\chi}{E}\right)}$$

$$\chi^* = \frac{\chi}{\left(1 + \frac{d}{\delta} \times \frac{\chi}{E}\right)}$$

$\chi^*$  - приведенный модуль упругости гидромеханического звена