

# Динамические нагрузки

Удар

# Вопросы для

1. Какие нагрузки называются статическими и какие динамическими?

2. Какое явление называется ударом?

3. Какая гипотеза лежит в основе теории удара?

4. Что положено в основу вывода формул для определения перемещений при ударе?

5. Что представляет собой «внезапное действие нагрузки» и чему равен коэффициент динамичности при таком воздействии?

6. Как определяются перемещения и напряжения при ударе?

7. Зависят ли напряжения при ударе от модуля упругости материала системы, подвергающейся удару?

# УДАР

Как уже известно, статической называется нагрузка, которая весьма медленно возрастает от нуля до своего конечного значения

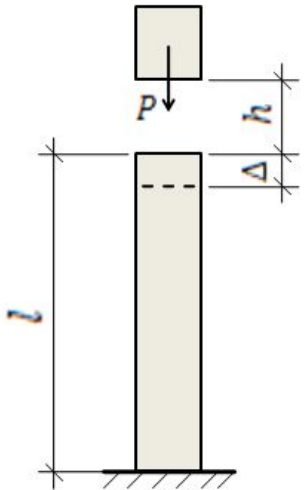
При быстро возрастающей нагрузке учитываются силы инерции, появляющиеся в результате деформации системы

Силы инерции необходимо учитывать также при действии нагрузки, вызывающей движение тела с некоторым ускорением

Такие нагрузки, а также вызванные ими деформации и напряжения называются динамическими

# УДАР

Рассмотрим какую-либо неподвижно закрепленную упругую систему, на которую с высоты  $h$  падает груз  $P$  (рис.)



Полагая, что удар неупругий, ударяющее тело не отскакивает, а перемещается вместе с

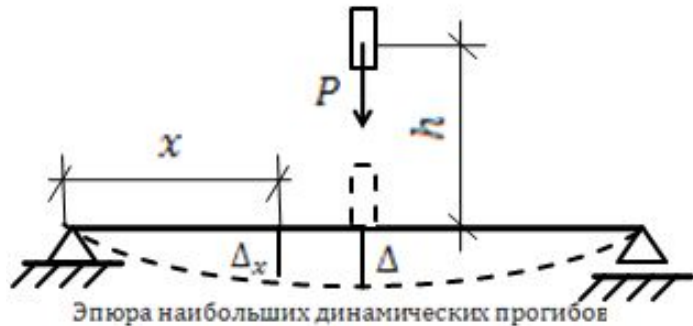
В некоторый момент времени скорость перемещения груза становится равной нулю

Деформация и напряжения в конструкции достигают наибольших значений

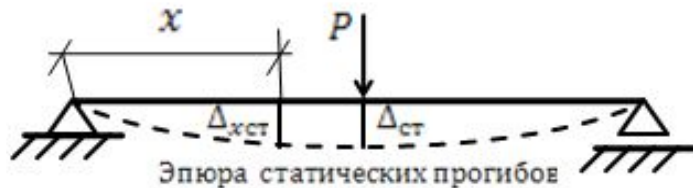
Затем происходят постепенные затухающие колебания системы и груза и устанавливается состояние статического равновесия, при котором деформации конструкции и напряжения в ней равны деформациям и напряжениям от статически действующей силы  $P$

# УДАР

В основе приближенной теории удара лежит гипотеза о том, что эюра перемещений системы от груза  $P$  при ударе подобна эюре перемещений, возникающих от этого же груза, но действующего статически



Например, эюра наибольших (динамических) прогибов балки от удара по ней падающего груза имеет вид



Эюра прогибов от статически приложенных сил (статических прогибов) показана на рис.

На основании указанной гипотезы

$$\frac{\Delta_x}{\Delta_{xст}} = \frac{\Delta}{\Delta_{ст}} = k_d \quad (1)$$

Здесь  $k_d$  – динамический коэффициент

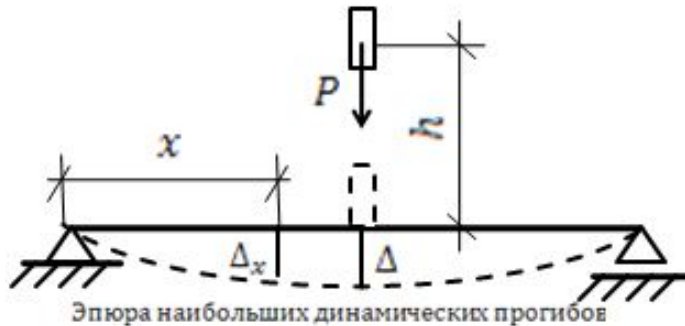
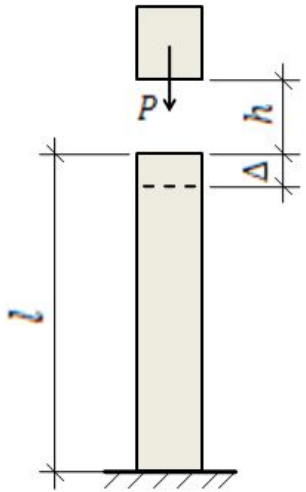
# УДАР

Рассмотрим сначала расчет на удар, когда масса упругого тела мала и ее можно принять равной нулю. Для таких случаев приведенная гипотеза становится точной, а не приближенной

Обозначим  $\Delta$ , как наибольшее перемещение системы в направлении груза  $P$

Тогда работа груза в результате его падения  $P \cdot (h + \Delta)$  равна

В момент времени, когда деформация системы достигает наибольшей величины, скорости движения груза и системы, а следовательно, и кинетическая



Работа груза в этот момент равна потенциальной энергии деформации упругой системы  $U = P \cdot (h + \Delta)$  (2)

Из сформулированной гипотезы следует, что динамические перемещения можно получить путем умножения перемещений от статического действия силы  $P$  на динамический коэффициент

# УДАР

Таким образом, перемещение от динамического (ударного) действия нагрузки можно рассматривать как статическое перемещение  $S = P \cdot k_d$

Тогда потенциальная энергия деформация системы

$$U = \frac{1}{2} \cdot S \cdot \Delta = \frac{1}{2} \cdot P \cdot k_d \cdot \Delta \quad (3)$$

Подставим это выражение в равенство (2):

$$P \cdot (h + \Delta) = \frac{1}{2} \cdot P \cdot k_d \cdot \Delta$$

или  $2 \cdot (h + \Delta) = k_d \cdot \Delta$  С учетом формулы (1) получим

$$\Delta^2 = 2 \cdot \Delta_{ст} \cdot (h + \Delta) \quad \text{или} \quad \Delta^2 - 2 \cdot \Delta_{ст} \cdot \Delta - 2 \cdot \Delta_{ст} \cdot h = 0 \quad (4)$$

Из этого уравнения (4) следует,  $\Delta = \Delta_{ст} + \sqrt{\Delta_{ст}^2 + 2 \cdot \Delta_{ст} \cdot h}$  (5)

что

В формуле (5) перед радикалом взят знак «плюс», т.к. прогиб не может быть отрицательным

Скорость падающего груза в момент соприкосновения с системой, подвергающейся удару, связана с высотой падения соотношением

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad \text{или} \quad 2 \cdot h = \frac{v^2}{g}$$

# УДАР

Теперь формулу (5) можно представить в следующем виде:

$$\Delta = \Delta_{ст} + \sqrt{\Delta_{ст}^2 + \frac{v^2}{g} \cdot \Delta_{ст}} \quad (6)$$

На основании формул (1), (5) и (6) получим следующее выражение динамического коэффициента:

$$k_d = \frac{\Delta}{\Delta_{ст}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot h}{\Delta_{ст}}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{v^2}{g \cdot \Delta_{ст}}} \quad (7)$$

Из принятой гипотезы следует, что динамические напряжения относятся к статическим напряжениям так же, как динамические перемещения  $\frac{\sigma}{\sigma_{ст}} = \frac{\Delta}{\Delta_{ст}} = k_d$ : отсюда  $\sigma = \sigma_{ст} \cdot k_d$  (8)

Таким образом, для определения наибольших напряжений и перемещений при ударе напряжения и перемещения, найденные в результате расчета системы на силу ***P***, действующую статически, следует умножить на динамический коэффициент или рассчитать систему на действие некоторой статической силы, но равной произведению ***Pk<sub>d</sub>***



# УДАР

Рассмотрим случай, когда высота падения груза равна нулю

Такой случай носит название **внезапного (мгновенного) действия нагрузки**

Такой случай возможен, если выбить стойку поддерживающую какую – либо конструкцию (например, колонну перекрытия или стойку опалубки и т.д.)

Тогда при  $h=0$  из формулы (7) получим:

$$k_d = 1 + \sqrt{1 + 0} = 2 \quad (9)$$

Следовательно, **при внезапном действии нагрузки деформации системы и напряжения в ней вдвое больше, чем при статическом действии той же нагрузки**

Поэтому, например, при производстве разопалубочных работ следует избегать внезапного приложения нагрузки, где это возможно