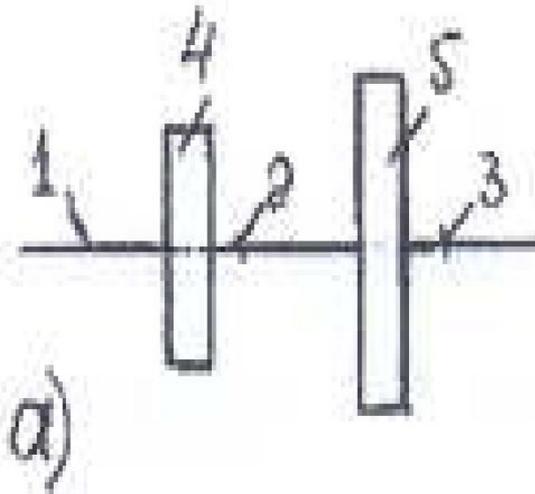
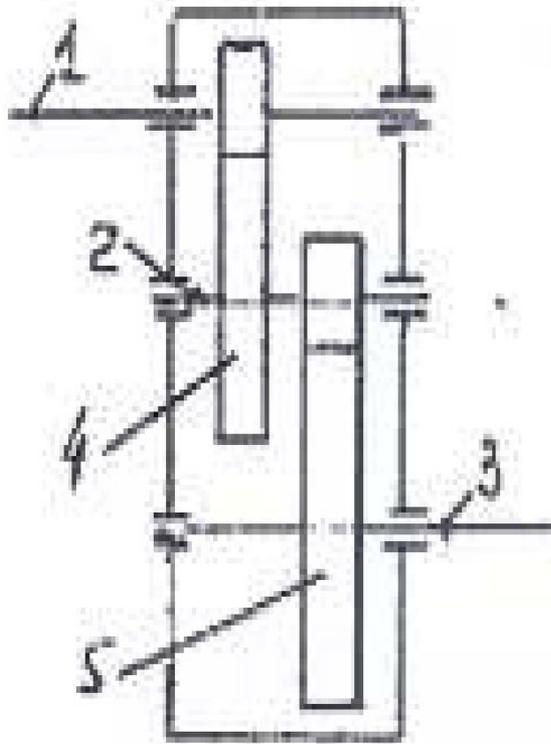


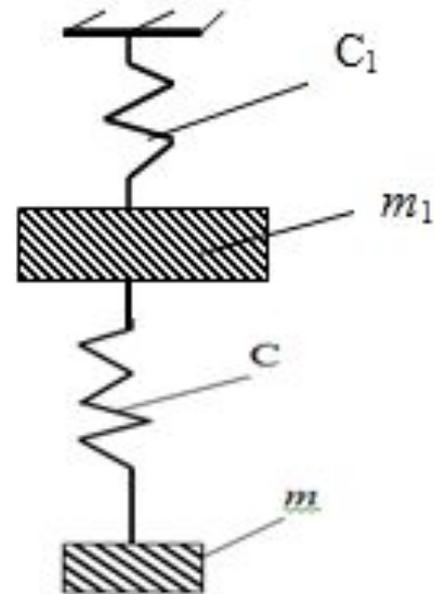
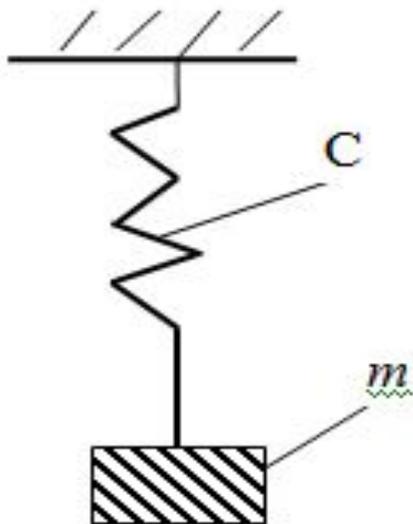
Раздел 3. Решение задач динамики машин с учетом сил упругости.

3.1. Основные теоретические положения

Для решения задач динамики с учетом упругости звеньев прибегают к приближенному решению, когда машину или исследуемый узел представляют в виде недеформируемых масс, соединенных упругими элементами. Например, если исследуются вибрации двухступенчатого редуктора, в котором есть валы и зубчатые колеса (рис. 3.1), то следует обратить внимание на то, что моменты инерции валов малы по сравнению с большими зубчатыми колесами, но обладают меньшей жесткостью.



Двухступенчатый редуктор и его динамическая модель.



Одномассовая и двухмассовая динамические модели.

При решении задач с учетом сил упругого сопротивления звеньев механизмов следует учесть, что на тело, кроме внешней силы F , действуют в общем случае, следующие силы:

сила инерции $F = -m \ddot{x}$

сила упругого сопротивления $F_1 = c x$

сила вязкого сопротивления $F_2 = \alpha \dot{x}$

x , \dot{x} и \ddot{x} - упругое перемещение, скорость (то есть первая производная от перемещения по времени) и ускорение этого перемещения, (то есть вторая производная от перемещения по времени);

c и α - коэффициенты, учитывающие механические свойства материалов конструкций (жесткость и вязкость).

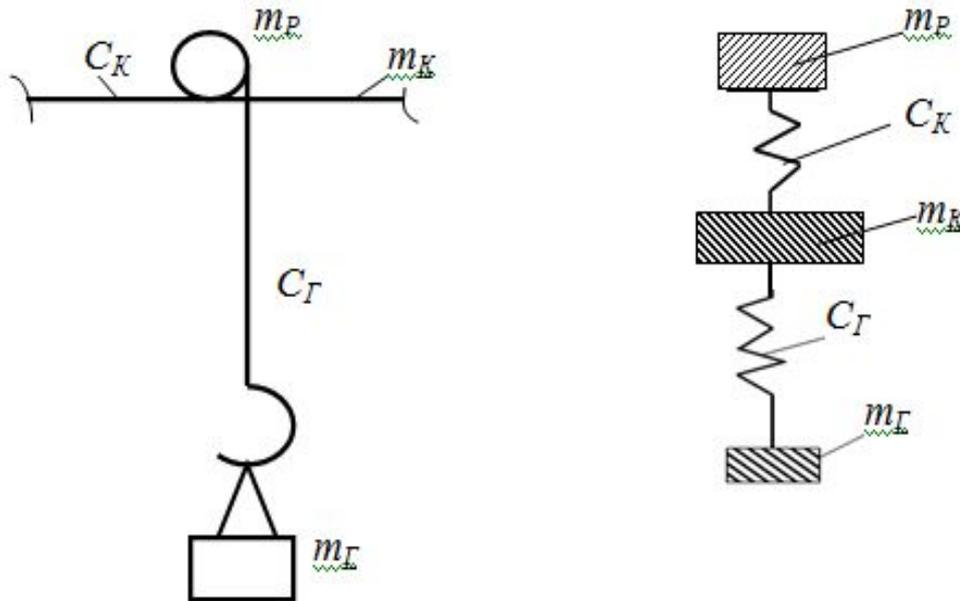
Учитывая изложенные выше зависимости и принятые допущения, получаем уравнение движения масс с учетом сил упругости

$$m\ddot{x} + \alpha\dot{x} + \underbrace{cx}_{\text{упругости}} = F \quad (3.1)$$

или, без учета вязкости

$$m\ddot{x} + \underbrace{cx}_{\text{упругости}} = F$$

В общем виде кран с грузом представляет собой трехмассовую систему, движение которой, как отмечено ранее, описываются дифференциальными уравнениями второго порядка



Расчетная схема мостового крана с грузом

m_K - масса крана; $m_Г$ - масса груза; m_P - масса вращающихся частей привода;

C_K - жесткость конструкции самого крана; $C_К$ - жесткость канатов, удерживающих груз.

Динамическая нагрузка при подъеме груза

В процессе подъема возможны два варианта: подъем «с веса» и подъем «с подхватом».

В первом случае – подъем «с веса» предполагается, что динамическая нагрузка возникает в момент отрыва груза от поверхности, на которой он лежит.

Избыточная сила $P_{изб}$, действующая со стороны двигателя, зависит от жесткости опорной конструкции C_K и от времени действия динамической нагрузки. $P_{дин} = f(t, C_K)$.

В начальный момент подъема нагрузка на грузозахватное устройство $P_{ГЗ}$ составит

$$P_{ГЗ} = Q_{Г} + P_{дин} \geq Q_{Г}, \quad (3.2.)$$

а динамический коэффициент

$$K_{Д} = P_{ГЗ} / Q_{Г} = 1 + \frac{P_{дин}}{Q_{Г}} \quad (3.3)$$

Во втором случае – подъем «с подхватом» груз лежит на каком-либо основании, канаты провисают, и в этот момент нагрузка на ГЗУ равна нулю.

При включении механизма подъема происходит выбор слабины канатов, и динамическая нагрузка возникает в тот момент, когда к канату, движущемуся со скоростью V , мгновенно прикладывается нагрузка от веса груза.

Нагрузка на ГЗУ определяется по тем же формулам (3.2) и (3.3), как и при подъеме «с веса»

Динамическая нагрузка, также как в первом случае, зависит от жесткости опорной конструкции C_K , но при этом уже зависит не от времени, а скорости каната.

$$P_{дин} = f(V, C_K).$$

В первом случае – подъем «с веса» динамическая деформация самого крана мало отличается от статической. Поэтому трехмассовую систему, изображенную на слайде 7, можно свести к двухмассовой, не учитывая массу крана и заменив жесткость канатов и металлоконструкции крана приведенной жесткостью C

$$C = (C_K \cdot C_\Gamma) / C_K + C_\Gamma$$

Уравнения движения имеют вид:

$$m_P \ddot{X}_P + C \cdot (X_P - X_G) = Q_G + P_{изб}$$

$$m_G \ddot{X}_G - C \cdot (X_P - X_G) = -Q_G,$$

где X_P и X_G - упругие перемещения ротора и груза, соответственно;

$P_{изб}$ - избыточная сила, действующая со стороны двигателя;

$(X_P - X_G)$ - деформация упругой связи (удлинение канатов).

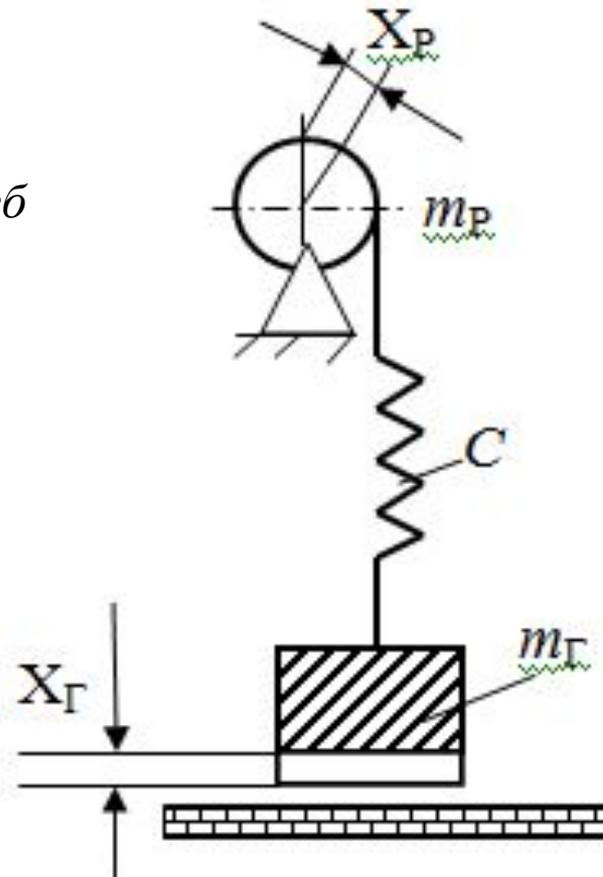


Схема динамического нагружения грузозахватного устройства при подъеме «с веса».

Избыточную силу, действующая со стороны двигателя, определяют зависимостью

$$P_{изб} = \varphi \cdot Q_{\Gamma} \quad (3.4)$$

где φ = коэффициент пропорциональности; $\varphi > 1$.

Коэффициент динамичности вычисляют по формуле

$$K_{д} = \frac{P_{ГЗ}}{Q_{\Gamma}} = 1 + \frac{2\varphi \cdot m_{\Gamma}}{m_{\Gamma} + m_{р}}$$

Массу груза определяют с учетом кратности полиспаста

$$m_{\Gamma} = \frac{m_{Q}}{i^2}$$

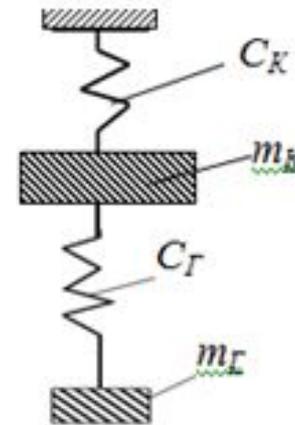
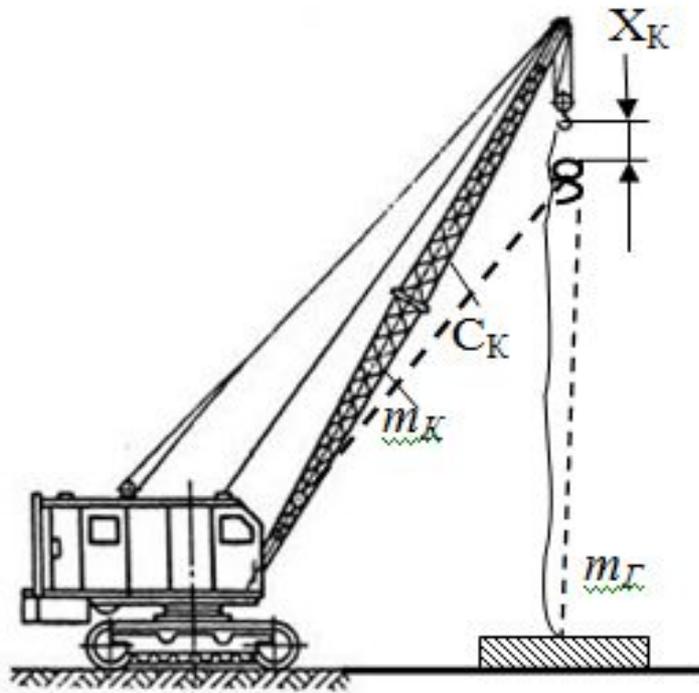
m_Q - грузоподъемность
крана

При торможении опускающегося груза величину $P_{дин}$ и коэффициент динамичности определяют по тем же формулам, но под $P_{изб}$ понимают разность между тормозным усилием, приведенном к грузу, и весом груза.

Во втором случае – подъем «с подхватом» груз лежит на каком-либо основании, канаты провисают, нагрузка на ГЗУ равна нулю.

При включении механизма подъема на первом этапе происходит выбор слабины канатов; на втором этапе – упругая деформация всех элементов конструкции и динамическая нагрузка возникает в тот момент, когда к канату, движущемуся со скоростью V , мгновенно прикладывается нагрузка от веса груза.

Этот этап продолжается до тех пор, пока усилие на грузозахватном устройстве не станет равным $Q_r = m_r \cdot g$. Лишь после этого начнется третий этап – подъем груза .



Двухмассовая динамическая модель

3.3. Схема динамического нагружения грузозахватного устройства «с подхватом».

Уравнение движения имеет вид:

$$m_K \ddot{X}_K + C X_K = P_{ГЗ}$$

Решение этого уравнения

$$X_K = y_{\text{ст}} + \frac{V}{p} \sin(pt)$$

где $y_{\text{ст}}$ – прогиб конструкции от статической нагрузки;
 V - установившаяся скорость подъема груза;

$$p = \sqrt{\frac{C}{m_K + m_G}}$$

p - круговая частота свободных колебаний

t – текущее время

Коэффициент динамичности для подъема «с подхватом»

$$K_D = \frac{V}{g} p = 1 + V \sqrt{\frac{1}{g y_{CT}} \frac{m_{\Gamma}}{(m_K + m_{\Gamma})}}$$

Существует приближенный метод определения значений коэффициентов динамичности K_D для грузозахватных устройств, в зависимости от пролета и грузоподъемности крана

Расчетная вертикальная нагрузка на ГЗУ вычисляется как

$$P_{ГЗ} = Q_{\Gamma} K_D$$

где Q_{Γ} - номинальный вес поднимаемого груза;

K_D - коэффициент динамичности, принятый по нормативам