

Лекция

Тема: Динамические нагрузки в грузоподъемном механизме крана, определяемые на основе одномассовой модели.

Цель лекции: определение нагрузок на грузоподъемный механизм крана.

Вопросы: 1 Обоснование расчетной схемы грузоподъемного механизма.

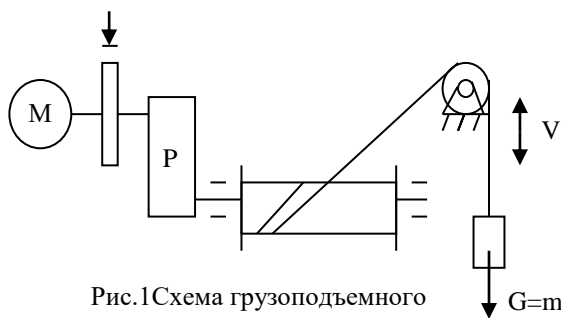
2 Динамические нагрузки на механизм при торможении опускаемого груза.

3 Динамические нагрузки на механизм при торможении поднимаемого груза.

4 Нагрузки на грузоподъемный механизм в процессе разгона груза.

Литература: 1. Решение задач динамики грузоподъемных машин в данном случае базируются на положениях в книге Тимошенко С.П. и др. «Колебания в инженерном деле».- М. «Машиностроение», 1985.

Вопрос 1. Обоснование расчетной схемы грузоподъемного механизма.



Грузоподъемный механизм электрического крана включает в себя (рис 1.) электродвигатель (М), тормоз на быстроходном валу, редуктор (Р) барабан, полиспаст с крюковой обоймой для подвески груза.

Динамические нагрузки на грузовой полиспаст и механизм подъема груза возникают в процессах торможения груза

при его подъеме – опускания и разгоне, как и реальная иная система, грузоподъемный механизм обладает множеством масс, сочлененных друг с другом упругими связями. Прикладываемые к нему усилия со стороны двигателя и тормоза развиваются во времени. В ходе разгона – торможения груза в колебательном процессе участвуют сам груз, массы механизма, металлоконструкция крана, подкрановые пути и т.д.. Если рассматриваемые процессы выполняются с одновременным перемещением крана или других его механизмов (передвижения тележки, поворота верхнего строения), что колебаниям груза по вертикали сопутствуют перемещения в иных направлениях. Благодаря сказанному, полная расчетная схема грузоподъемного крана оказываются громоздкой. Однако для выявления главных факторов, формирующих нагрузки в грузоподъемном механизме, ее упрощают. Основывается это на следующем: жесткости валов, зубчатых и барабанных передач грузоподъемного механизма многократно превышает жесткость грузового полиспаста. Поэтому в расчетах только последнюю. Если необходимо оценить предельно-возможные нагрузки в грузоподъемном

механизме, то целесообразно колебания остова крана не учитывать, а усилия торможения полагать мгновенно возрастающими до максимума.

Скорости подъема или опускания груза к моменту торможения механизма полагают постоянными. Это очевидно для

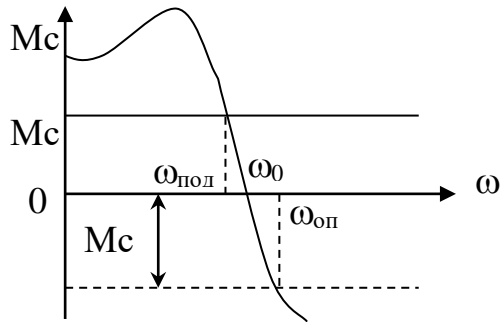


Рис.2 Характеристика асинхронного двигателя

процесса подъема груза (рис.2). При опусканию груза с торможением электродвигателем груз оказывает на механизм тянущее усилие, заставляя электродвигатель работать в режиме генератора (рис. 2). Поэтому ротор электродвигателя способен вращаться с угловой скоростью $\omega_{оп}$, несколько превышающей синхронную (ω_0).

Но из-за крутизны характеристики асинхронного двигателя угловые скорости ротора в процессах подъема ($\omega_{под}$) и опускания груза ($\omega_{оп}$) незначительно отличаются друг от друга и могут быть приняты равными и постоянными. В этой связи до включения тормоза усилие в полиспасте, согласно первому закону Ньютона, неизменно и равно силе тяжести поднимаемого груза. И наконец, с целью определения предельно-возможных динамических усилий будем полагать, что в процессе торможения

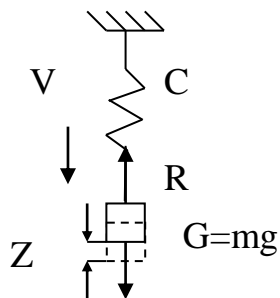


Рис.4 Эквивалентная расчетная схема при торможении опускаемого груза.

механизма верхние концы ветвей полиспаста останавливаются мгновенно, а сам полиспаст выполняет роль пружины жесткостью C . Тогда эквивалентная расчетная схема механизма в рассматриваемых процессах может быть представлена в виде одномассовой (рис.3) модели.

В последующих лекциях будет рассмотрено формирование динамических нагрузок в грузоподъемном механизме на основе двухмассовой модели. Полученные решения задач динамики в данной лекции позволяют результатов рассмотрения более сложной двухмассовой модели в последующем.

Вопрос 2. Динамические нагрузки на механизм при торможении опускаемого груза .

Пусть груз массой m при силе тяжести $G=mg$ опускается с постоянной скоростью V . Тогда в грузовом полиспасте действует статическое усилие R_{cm} , равное силе тяжести груза G

$$R_{cm} = G$$

При внезапном приложении тормозного усилия верхние концы ветвей полиспаста мгновенно останавливаются. Но будем при этом полагать, что жесткость полиспаста C определяется полной длиной каната, образующего полиспаст. Тогда после защемления верхних ветвей под действием силы тяжести груза и за счет запаса кинетической энергии масса m будет продолжать некоторое время опускаться вниз, растягивая условную пружину жесткостью C . Следовательно, в полиспасте возникает усилие, препятствующее этому перемещению.

$$R = R_{ст} + C \cdot Z \quad (1)$$

Поэтому уравнение движения груза может быть представлено выражением

$$m\ddot{Z} = G - (R_{ст} + C \cdot Z)$$

Поскольку $R_{ст} = G$, то

$$m\ddot{Z} + C \cdot Z = 0.$$

$$\text{Или} \quad \ddot{Z} + p^2 Z = 0 \quad (2)$$

$$\text{где} \quad p^2 = \frac{C}{m}, \quad (3)$$

представляет собой квадрат частоты свободных колебаний груза.

Уравнение (2) не отличается от полученного в описании движения поршней стрелоподъемных гидроцилиндров ковшового погрузчика (лекция №.). Следовательно его решение имеет тот же вид.

$$Z = A \sin pt + B \cos pt \quad (4)$$

где Z – перемещение груза относительно положения статического равновесия, A и B постоянные интегрирования; t – время.

Первая производная перемещения по времени определяется скоростью движения груза в колебательном процессе

$$\dot{Z} = A p \cos pt - B p \sin pt, \quad (5)$$

Начальные условия: $t=0; Z=0; \dot{Z} = V$ после их подстановки в равенства (4), (5) устанавливают постоянные интегрирования

$$\text{Из уравнения (4)} \quad B=0;$$

$$\text{из уравнения (5)} \quad A = \frac{V}{p};$$

Таким образом, колебательный процесс груза описывается соотношением

$$Z = \frac{V}{p} \sin pt, \quad (6)$$

а полная нагрузка на полиспаст с учетом (1) и (3) определяется зависимостью

$$R = R_{ст} + V \cdot \sqrt{C \cdot m} \cdot \sin pt \quad (7)$$

где $R_{ст} = G$.

Максимальной величины усилия в полиспасте достигается, когда $\sin pt=1$

$$R_{\max} = G + V \cdot \sqrt{C \cdot m} \quad (8)$$

Вопрос 3. Динамические нагрузки на механизм при торможении поднимаемого груза.

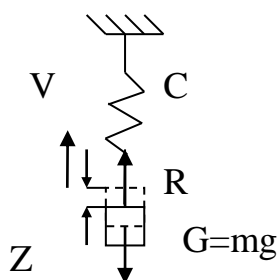


Рис.5 Эквивалентная расчетная схема при торможении поднимаемого груза.

При торможении поднимаемого груза эквивалентная расчетная схема отличается от изображенной на рис. 4 направлением первоначального движения массы m (рис.5) По этой причине в результате сокращения длины упругой связи на величину Z усилия в полиспасте R определяется равенством

$$R = R_{cr} - C \cdot Z \quad (1)$$

где, как и в предшествующей задаче, $R_{cr} = G$.

Тогда уравнение движения груза приобретает вид

$$m\ddot{Z} = R_{cr} - C \cdot Z - G.$$

Поскольку $R_{cr} = G$, то в конечном итоге приходим к уравнению (2)

$$\ddot{Z} + p^2 Z = 0,$$

имеющему решение в виде (6)

$$Z = \frac{V}{p} \sin pt,$$

где $p^2 = \frac{C}{m}$.

Воспользовавшись соотношением (9) с учетом (6) нетрудно установить изменение во времени усилия в грузовом полиспасте при торможении поднимаемого груза

$$R = G - V \cdot \sqrt{C \cdot m} \cdot \sin pt, \quad (10)$$

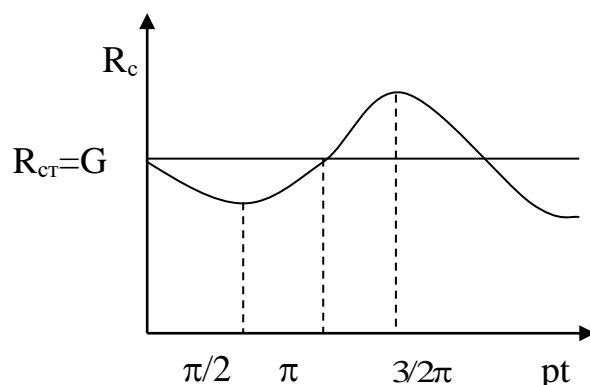


Рис.6 Изменение усилий в грузовом полиспасте при торможении поднимаемого груза

из которого следует, что на первом этапе колебаний усилие в полиспасте уменьшается (рис.6). Но в дальнейшем оно увеличивается и достигает

максимума при $pt = \frac{3}{2}\pi$. Поскольку $\sin \frac{3}{2}\pi = -1$, то максимальная величина R_{max} согласно (10) определяется равенством (8)

$$R_{cm} = G + V\sqrt{C \cdot m}, \quad (10a)$$

Таким образом, наибольшие динамические нагрузки в грузовом полиспасте не зависят от первоначального направления движения и при прочих равных условиях одинаковы в процессах торможения как опускаемого так и поднимаемого груза.

Вопрос 4. Нагрузки на грузоподъемный механизм в процессе разгона груза .

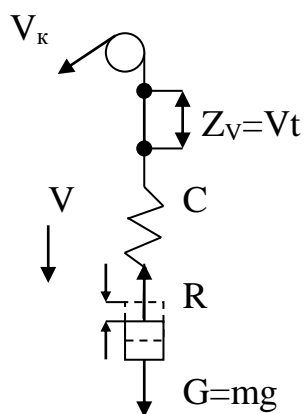


Рис.7 Эквивалентная расчетная схема при разгоне механизма на подъем груза.

В рассматриваемом расчетном положении предполагается, что груз первоначально находится в подвешенном неподвижном состоянии. В последующем происходит резкое включение грузоподъемного механизма. Тогда верхние концы грузового полиспаста (точка 1 на рис.7) начинают движение со скоростью V . Груз, первоначально будучи в неподвижном состоянии, из-за растягивания упругой связи (условной пружины) жесткостью C запаздывает в своем перемещении по отношению к точке 1. По этой причине усилия в грузовом полиспасте определяется статической реакцией и дополнительным усилием, обусловленным разностью перемещений точки $1-Z_v$ и груза Z (рис.7) и

жесткостью подвески C

$$R = R_{cm} + C(Z_v - Z) = R_{cm} + C(V \cdot t - Z), \quad (11)$$

где V – скорость подъема груза;
 t – время.

В связи со сказанным уравнение движения массы m имеет вид

$$m\ddot{Z} = R - G.$$

Или

$$m\ddot{Z} = R_{cm} + C(V \cdot t - Z) - Q.$$

Поскольку статическая реакция в грузовом полиспасте $R_{ст}$ равна силе тяжести поднимаемого груза $G(R_{cm}=G)$, то

$$m\ddot{Z} = C \cdot V \cdot t - CZ$$

После проведения последнего уравнения к канонической форме имеет

$$\ddot{Z} + p^2 \cdot Z = p^2 V \cdot t \quad (12)$$

где как и ранее, $p^2 = \frac{C}{m}$

представляет собой квадрат частоты свободных колебаний груза массой m на пружине C .

В отличие от уже рассмотренных уравнений движения (вопросы 2 и 3 данной лекции) в рассматриваемом случае уравнение (12) относится категории неоднородных, решение которого может быть представлено в виде

$$Z = A \sin pt + B \cos pt + D, \quad (13)$$

где, как и ранее, A и B постоянные интегрирования;

Dt -перемещение точки 1 (рис.7) с постоянной скоростью. Его величину определяют путем подстановки решения (13) и второй производной Z в исходное дифференциальное уравнение (12).

Поскольку на основании (13)

$$\dot{Z} = Ap \cos pt - Bp \sin pt + D, \quad (14)$$

$$\ddot{Z} = -Ap^2 \sin pt - Bp^2 \cos pt, \quad (15)$$

то согласно (12), (15)

$$-Ap^2 \sin pt - Bp^2 \cos pt + p^2(A \sin pt + B \cos pt + Dt) = p^2 Vt.$$

Отсюда вытекает, что

$$D = V.$$

Тогда равенство (14) может переписаться в виде

$$\dot{Z} = Fp \cos pt - Bp \sin pt + V \quad (16)$$

В рассматриваемой ситуации в качестве начальных условий решения уравнения (12) необходимо принять: $t = 0$; $Z = 0$ и $\dot{Z} = 0$ (груз к моменту разгона находится в неподвижном состоянии). После подстановки начальных условий в равенства (13) и (14) находим:

из (13) $B = 0$;

из (14) $A = -\frac{V}{p}$.

А решение (13) приобретает окончательный вид

$$Z = V \cdot t - \frac{V}{p}$$

(17)

Из него следует, что фоне движения со средней скоростью V груз совершает колебания по закону синусоиды, деформируя упругую связь (рис.8). Тогда на основании равенства (11) можно отыскать изменяющуюся во времени реакцию в грузовом полиспасте.

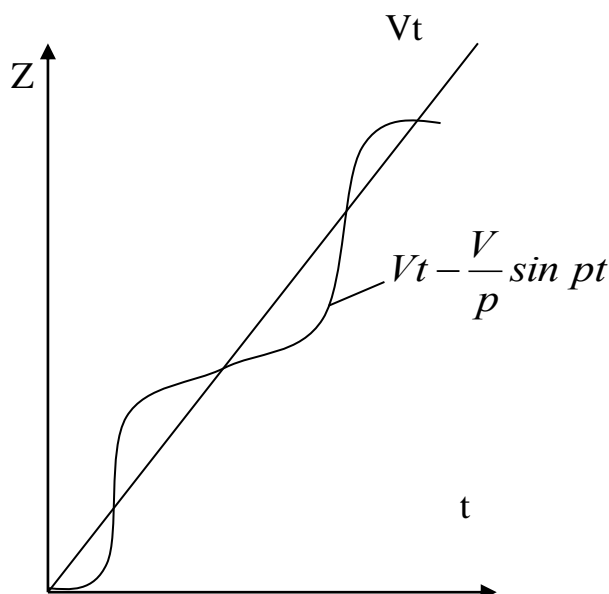


Рис.8. График, иллюстрирующий подъем груза с колебаниями после разгона

$$\begin{aligned}
 R &= R_{cm} + C(Vt - Z) = G + C(Vt - Vt + \frac{V}{p} \sin pt = \\
 &= G + C \frac{V}{p} \sin pt = G + V \sqrt{Cm} \sin pt
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

Максимального значения R достигает, когда $\sin pt = 1$. Поэтому

$$R_{max} = G + V \sqrt{C \cdot m} \tag{19}$$

что не отличает полученный результат от ранее найденных значений R_{max} (вопросы данной лекции).

Таким образом, в трех вариантах нагружения грузоподъемного механизма, несмотря на кажущееся различие процессов, получен один и тот же результат (8), (10а), (19), показывающий зависимость динамической нагрузки от силы тяжести поднимаемого груза G , скорости его перемещения V , жесткости системы подвески C и массы m . Коэффициент динамичности, как и ранее, может быть определен соотношением

$$K\delta = \frac{R_{max}}{R_{cm}} = \frac{R_{max}}{G} = 1 + \frac{V}{G} \sqrt{Cm}, \tag{20}$$

что позволяет расчетное усилие в грузовом полиспасте определять по общепринятому выражению

$$R_{pac} = K\delta \cdot G \tag{21}$$

Контрольные вопросы

1. Что является наиболее податливым звеном в механизме подъема груза?
2. Чем объясняется равенство статической реакции в грузовом полиспасте весу опускаемого груза?
3. В чем различие эквивалентных расчетных схем грузоподъемного механизма в процессах торможения опускаемого груза и при его разгоне?
4. В какие периоды времени достигается наибольшее усилие в грузовом полиспасте при торможении опускаемого и подымаемого груза?
5. Что собою представляет частота свободных колебаний груза на упругой подвеске?
6. Какими факторами определяется динамическое усилие в грузовом полиспасте?

7. Что такое коэффициент динамичности и как он учитывается при определении расчетных нагрузок?