

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

А. С. КАРАПЕТЯН, Н. О. ГРИГОРЯН, А. С. САРКИСЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПОДЪЕМНИКА  
 В ПУСКОВОМ РЕЖИМЕ ПРИ ОПУСКАНИИ С УЧЕТОМ  
 ЭКСЦЕНТРИЧНОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ГРУЗА

Наряду с дальнейшим развитием массового строительства зданий нормальной высоты в крупных городах республик нашей страны возводятся жилые и общественные здания повышенной этажности. В связи с этим в настоящее время наметилась тенденция к увеличению скорости, грузоподъемности и высоты подъема строительных подъемников.

Работа строительного подъемника в периоды пуска и торможения сопровождается динамическими явлениями, которые в той или иной мере оказывают влияния на характер движения перемещаемых грузов, а также на прочность и устойчивость элементов подъемника и строящегося здания. В [1] приводятся результаты теоретического и экспериментального исследований и расчет динамических нагрузок в режиме пуска-подъема строительных мачтовых подъемников по новой методике, с учетом упругости конструктивных элементов и сил сопротивления покоя.

Учитывая это, в статье анализируется пусковой режим при опускании загруженной платформы строительных мачтовых подъемников, мачта которого прикреплена к зданию по всей высоте.

Динамическая схема строительного подъемника приведена на рис. 1. Принятая система двухмассовая, состоящая из массы ротора приводного двигателя и связанных с ним элементов механизма  $m_p$  и массы груза  $m_r$  с грузонесущим органом. Обе массы связаны упругим звеном с жесткостью  $C_k$ . При составлении дифференциальных уравнений принимается синхронность движения обеих масс, исходя из того, что скорость распространения упругих волн в канатах, примерно, составляет

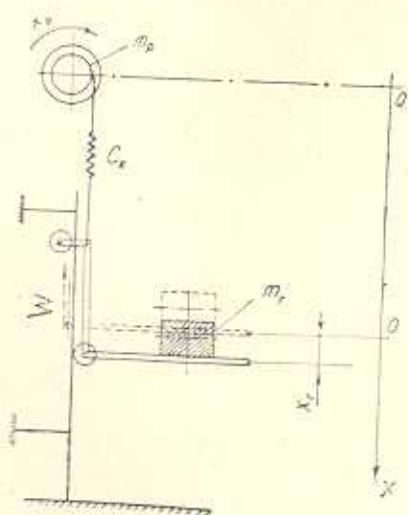


Рис. 1. Динамическая схема строительного мачтового подъемника.

массы груза  $m_r$  с грузонесущим органом. Обе массы связаны упругим звеном с жесткостью  $C_k$ . При составлении дифференциальных уравнений принимается синхронность движения обеих масс, исходя из того, что скорость распространения упругих волн в канатах, примерно, составляет

4200 м/с [2] и не сопоставима с длиной подъемного каната. Массу каната считаем присоединенной к массам груза и платформы. Такое упрощение приемлемо для высот подъема до 100 м.

Так как нас интересует максимальное значение динамических нагрузок, развивающихся в первый или второй периоды развития динамических процессов, затухание колебаний не учитывается, поскольку оно в начале движения не оказывает существенного влияния на развитие динамических процессов и приводит к погрешностям расчетных значений, не превышающим 3÷5% [3]. При предварительном подсчете выяснилось, что сила сопротивления от силы инерции составляет приблизительно 1÷1,2% от общей силы сопротивления, поэтому этой величиной также можно пренебречь.

В этом режиме процесс протекает двумя этапами. На первом этапе после пуска электродвигателя за счет сопротивления покоя, действующего между катками и направляющими, линейная скорость каната получается больше, чем линейная скорость груза ( $V_r < V_k$ ) и канат ослабляется до минимума натяжения.

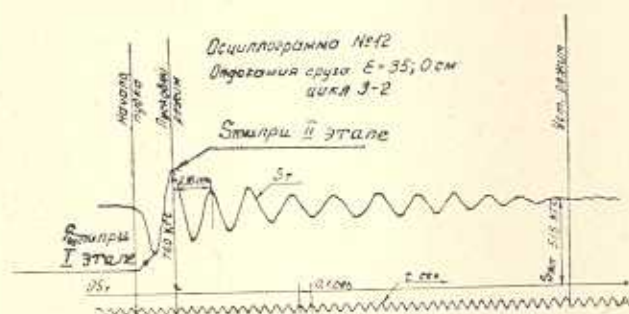


Рис. 2. Оциллограмма процесса опускания груза Q=615 кгс.

Исходя из уравнения движения Лагранжа второго рода, уравнения вынужденных колебаний для первого этапа примут вид:

$$m_p \frac{d^2 X_p}{dt^2} + C_k (X_p - X_r) = -T_{изб}^p; \quad (1)$$

$$m_r \frac{d^2 X_r}{dt^2} - C_k (X_p - X_r) = -Q [1 - W_n(y, z)], \quad (2)$$

которые без правой части определяют свободные колебания системы. Здесь  $X_p$  и  $X_r$  — перемещение соответствующей массы;  $C_k$  — жесткость упругого звена;  $T_{изб}^p$  — избыточная сила, которую развивает двигатель при пуске;  $W_n(y, z)$  — коэффициент сопротивления перемещению при покое [1]. Совместно решая эти уравнения, получим:

$$X = B_1 \cos Pt + B_2 \sin Pt - \frac{T_{изб}^p \cdot m}{C_k (m_p + m_r)} + \frac{Q [1 - W_n(y, z)] m_p}{C_k (m_p + m_r)}, \quad (3)$$



где

$$X = X_p - X_r; \quad P = \sqrt{\frac{C_k}{m}}; \quad m = \frac{m_p \cdot m_r}{m_p + m_r}.$$

Так как в момент приложения избыточной силы элементы механизма уже статически нагружены, т. е.

$$t = 0, \quad X = \frac{Q[1 - W_n(y, z)]}{C_k}, \quad \text{а} \quad \frac{dX}{dt} = 0,$$

то при этом

$$B_1 = \frac{[Q[1 - W_n(y, z)] + T_{исб}^p] m_r}{C_k (m_p + m_r)}, \quad B_2 = 0.$$

Подставив значения  $B_1$  и  $B_2$  в уравнение (3), получаем минимальную деформацию  $X_{\min}$  и минимальное усилие в упругом звене:

$$S_{\min} = C_k \cdot X_{\min}. \quad (4)$$

На втором этапе движения скорость груза с платформой возрастает и становится больше скорости каната, вследствие чего преодолевается сила сопротивления движению.

Уравнение, описывающее движение системы на этом этапе, будет

$$m_r \frac{d^2 X_r}{dt^2} + C_k X_r = Q[1 - W_x(y, z)], \quad (5)$$

где  $W_x(y, z)$  — коэффициент сопротивления перемещению при движении [4].

Решая уравнение (5) и получив значения коэффициентов  $B_1$  и  $B_2$  при начальных условиях  $t = 0$ ,  $X = X_{\min}$  и  $\frac{dX_r}{dt} = 0$ , можем определить максимальную деформацию упругого звена и, следовательно, максимальное усилие в нем:

$$S_{\max} = \frac{2\{Q[1 - W_n(y, z)] + T_{исб}^p\} m_r}{m_p + m_r} - Q[1 - W_n(y, z)] + 2Q[1 - W_x(y, z)]. \quad (6)$$

Для асинхронных электродвигателей можно принять  $T_{исб}^p = \psi Q \approx \text{const}$ . Так как максимальная статическая нагрузка при этом:  $S_{ст}^{\max} = S_{уст} = Q[1 - W_x(y, z)]$ , то коэффициент динамичности в пусковом режиме при опускании груза определится как (рис. 2)

$$K_d^n = \frac{S_{\max}}{S_{уст}} = (a + b)\lambda + C, \quad (7)$$

где для удобства подсчета обозначены:

$$a = 2 \frac{1 - W_n(y, z)}{1 - W_x(y, z)}; \quad \lambda = \frac{m_r}{m_p + m_r};$$

$$b = 2 \frac{\psi}{1 - W_n(y, z)}; \quad C = 2 - \frac{1 - W_n(y, z)}{1 - W_n(y, z)}$$

Значение  $\psi$  определяется, исходя из пусковых характеристик электродвигателей:

$$\psi = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} - 1.$$

Результаты подсчета коэффициентов динамичности при разных значениях  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $\lambda$  и эксцентриситете расположения груза  $\epsilon$  на платформе при  $\psi = 1,3$  приведены в таблице.

Таблица

$\epsilon = 0,0 \text{ см}$	$W_n^{\text{сп}}(y, z) = 0,226$	$W_x^{\text{сп}}(y, z) = 0,11$	$a = 1,74$ $b = 2,9205$ $c = 1,13$	$\lambda$	0,06	0,065	0,07	0,075	0,08	0,085	0,09
				$K_n^{\text{д}}$	1,4099	1,433	1,457	1,480	1,503	1,526	1,5495
$\epsilon = 35,0 \text{ см}$	$W_n^{\text{сп}}(y, z) = 0,282$	$W_x^{\text{сп}}(y, z) = 0,151$	$a = 1,692$ $b = 3,062$ $c = 1,154$	$K_n^{\text{д}}$	1,4395	1,463	1,4865	1,511	1,534	1,559	1,582
$\epsilon = 35,15 \text{ см}$	$W_n^{\text{сп}}(y, z) = 0,326$	$W_x^{\text{сп}}(y, z) = 0,17$	$a = 1,622$ $b = 3,153$ $c = 1,189$	$K_n^{\text{д}}$	1,4755	1,499	1,524	1,547	1,571	1,595	1,609
$\epsilon = 35,35 \text{ см}$	$W_n^{\text{сп}}(y, z) = 0,361$	$W_x^{\text{сп}}(y, z) = 0,189$	$a = 1,575$ $b = 3,21$ $c = 1,212$	$K_n^{\text{д}}$	1,4990	1,5225	1,5425	1,5605	1,5905	1,619	1,643

Как видно из уравнения (6) и результатов подсчета, приведенных в таблице, значение коэффициента динамичности зависит от сопротивления в направляющих подъемника, отношения масс  $\lambda$ , а также от пуско-

вой характеристики двигателя  $\psi$ . Сопротивления в свою очередь зависят от эксцентриситета  $\varepsilon$ .

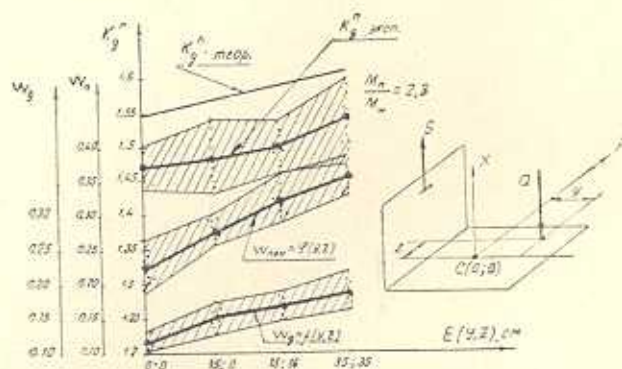


Рис. 3. Теоретические и экспериментальные значения коэффициентов динамичности, сопротивления перемещению при покое и движении при различных эксцентриситетах расположения груза на платформе.

При постоянном значении  $\psi$  сопоставленные графики теоретических и экспериментальных значений коэффициента динамичности, а также коэффициенты сопротивления перемещению при покое и движении приведены на рис. 3. Эксперименты были проведены на строительном мачтовом подъемнике С-447М со специальной танзометрической тягой.

Полученные данные для коэффициентов сопротивления перемещению платформы при покое  $W_n(y, z)$  и движении  $W_d(y, z)$  при всех эксцентриситетах обработаны методами математической статистики. При этом среднее значение коэффициентов сопротивления  $W_n^{cp}$  и  $W_d^{cp}$  и средние квадратические отклонения  $\sigma$  были получены на ЭЦВМ „Наир“.

Как видно из графиков, доверительные оценки в разных сечениях (при разных эксцентриситетах груза на платформе) разные. Проверки результатов нормальности распределения коэффициентов сопротивления по критерию  $\chi^2$  показала, что закон распределения вероятностей по сечениям нормальный. Один из графиков кривой распределения для коэффициентов сопротивления перемещению  $W_d(y, z)$ , относящийся к эксцентриситету  $\varepsilon = 35; 35$ , имеющему  $W_n^{cp} = \bar{X} = 0,189$ ,  $\sigma = 0,023$ , приведен на рис. 4а, и для коэффициента сопротивления покою  $W_n(y, z)$ , при  $\varepsilon = 35; 0$ ,  $W_n^{cp} = \bar{X} = 0,283$ ,  $\sigma = 0,023$  — на рис. 4б. Расхождение между теоретическими и экспериментальными значениями в этом режиме не превосходит  $5-7\%$ , что является вполне приемлемым.

Полученные результаты показывают, что при исследовании динамики строительных подъемников необходимо учесть эксцентricность расположения груза на платформе, так как ее увеличение приводит к росту коэффициента динамичности при опускании груза с грузонесущим органом,



что следует учитывать при расчете и проектировании стропильных мачтовых подъемников больших грузоподъемностей и высот.

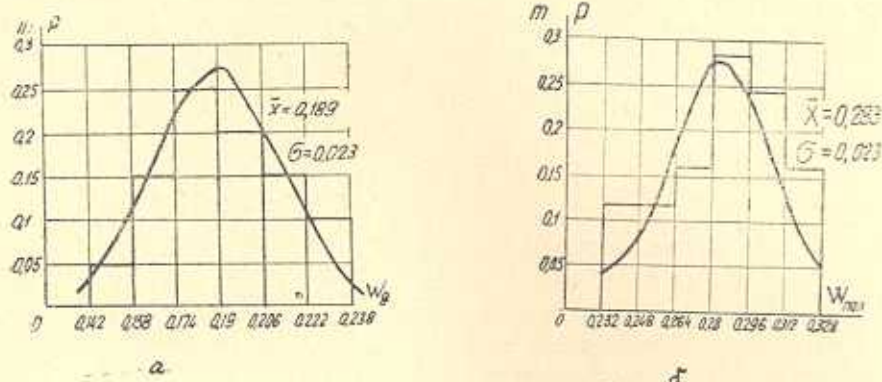


Рис. 4. Графики кривой распределения для коэффициентов: а) сопротивления перемещению  $W_d$  (35; 35); б) сопротивления покою  $W_{fr}$  (35; 0).

ЕрПИ им. К. Маркса

Поступило 26.III.1979.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Карапетян А. С. Динамические нагрузки в стропильных мачтовых подъемниках. «Промышленность Армении», 1973, № 4.
2. Савин Г. Н., Горошко О. А. Динамика нити переменной длины (применительно к шахтным подъемникам), Киев, изд. АН УССР, 1962.
3. Волков Д. П. Динамика и прочность одноковшовых экскаваторов. М., «Машиностроение», 1965.
4. Карапетян А. С. Сопротивление перемещению рабочей платформы стропильных подъемников. Сб. «Строительные и дорожные машины», разд. 2, вып. 3, М., ЦНИИТЭстроймаш, 1971.

