ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXXII, № 3, 1979 Серия технических наук

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 стрительного 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.

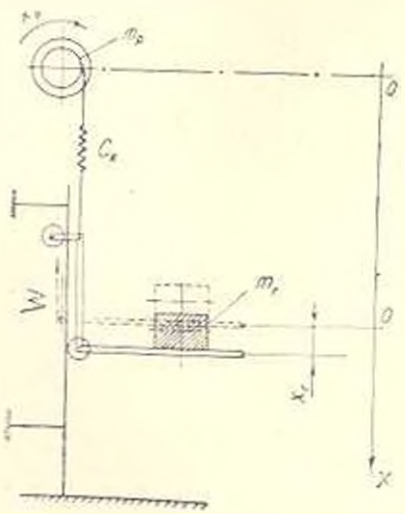

Рис. 1. Динамическая схема строительного мачтового подъемника.

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 $m_р$ и массы груза $m_г$ с грузонесущим органом. Обе массы связаны упругим звеном с жесткостью $C_к$. При составлении дифференциальных уравнений принимается синхронность движения обоих 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 выявилось, 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 ($V_г < V_к$) и канат ослабляется до минимума натяжения.

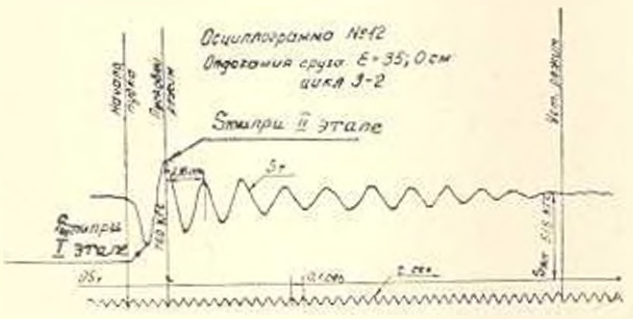

Рис. 2. Осциллограмма процесса опускания груза $Q = 615$ *кгс*.

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

$$m_р \frac{d^2X_р}{dt^2} + C_к (X_р - X_г) = -T^р_{изб}; \qquad (1)$$

$$m_г \frac{d^2X_г}{dt^2} - C_к (X_р - X_г) = -Q\,|1 - W_п(y, z)|, \qquad (2)$$

которые без правой части определят свободные колебания системы. Здесь $X_п$ и $X_г$ — перемещение соответствующей массы; $C_к$ — жесткость упругого звена; $T^р_{изб}$ — избыточная сила, которую развивает двигатель при пуске; $W_п(y, z)$ — коэффициент сопротивления перемещению при покое [1]. Совместно решая эти уравнения, получим:

$$X = B_1 \cos Pt + B_2 \sin Pt - \frac{T^р_{изб} \cdot m}{C_к (m_р + m_г)} + \frac{Q\,|1 - W_п(y, z)|\, m_р}{C_к (m_р + m_г)}. \qquad (3)$$

где

$$X = X_р - X_г; \qquad P = \sqrt{\frac{C_к}{m}}; \qquad m = \frac{m_р \cdot m_г}{m_р + m_г}.$$

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

$$t = 0, \qquad X = \frac{Q\,|1 - W_п(y, z)|}{C_к}, \qquad \text{а} \qquad \frac{dX}{dt} = 0,$$

то при этом

$$B_1 = \frac{|Q\,|1 - W_п(y, z)| + T^р_{нэб}|\, m_г}{C_к (m_р + m_г)}; \qquad B_2 = 0.$$

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

$$S_{min} = C_к \cdot X_{min}. \tag{4}$$

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

$$m_г \frac{d^2 X_г}{dt^2} + C_к X_1 = Q\,|1 - W_з(y, z)|. \tag{5}$$

где $W_з(y, z)$ — 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 $\frac{dX_г}{dt} = 0$, можем определить максимальную деформацию упругого звена и, следовательно, максимальное усилие в нем:

$$S_{max} = \frac{2\,\{Q\,|1 - W_п(y, z)| + T^р_{нэб}\}\, m_г}{m_р + m_г} - Q\,|1 - W_п(y, z) + \\ + 2Q\,|1 - W_з(y, z)|. \tag{6}$$

Для асинхронных электродвигателей можно принять $T^р_{нэб} = \frac{1}{2}Q \approx \text{const}$. Так как максимальная статическая нагрузка при этом: $S^{max}_{ст} = S_{уст} = Q\,|1 - W_з(y, z)|$, то коэффициент динамичности в пусковом режиме при опускании груза определится как (рис. 2)

$$K^п_д = \frac{S_{max}}{S_{уст}} = (a + b)\lambda + C, \tag{7}$$

где для удобства подсчета обозначены:

$$a = 2\,\frac{1 - W_п(y, z)}{1 - W_з(y, z)}; \qquad \lambda = \frac{m_г}{m_р + m_г};$$

$$b = 2\,\frac{\psi}{1 - W_{\text{л}}(y,\ z)}\,; \qquad C = 2 - \frac{1 - W_{\text{п}}(y,\ z)}{1 - W_{\text{л}}(y,\ z)}$$

Значение ψ 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, λ и эксцентриситете расположения груза ε на платформе при $\psi = 1{,}3$ приведены в таблице.

Таблица

				λ	0,06	0,065	0,07	0,075	0,08	0,085	0,09
$\varepsilon = 0{,}0$ *см*	$W_{\text{п}}^{\text{ср}}(y,\ z) = 0{,}226$	$W_{\text{л}}^{\text{ср}}(y,\ z) = 0{,}11$	$a = 1{,}74$ $b = 2{,}9205$ $c = 1{,}13$	$K_{\text{л}}^{\text{п}}$	1,4099	1,433	1,457	1,480	1,503	1,526	1,5495
$\varepsilon = 35{,}0$ *см*	$W_{\text{п}}^{\text{ср}}(y,\ z) = 0{,}282$	$W_{\text{л}}^{\text{ср}}(y,\ z) = 0{,}151$	$a = 1{,}692$ $b = 3{,}062$ $c = 1{,}154$	$K_{\text{л}}^{\text{п}}$	1,4395	1,463	1,4865	1,511	1,534	1,559	1,582
$\varepsilon = 35{,}15$ *см*	$W_{\text{п}}^{\text{ср}}(y,\ z) = 0{,}326$	$W_{\text{л}}^{\text{ср}}(y,\ z) = 0{,}17$	$a = 1{,}622$ $b = 3{,}153$ $c = 1{,}189$	$K_{\text{л}}^{\text{п}}$	1,4755	1,499	1,524	1,547	1,571	1,595	1,609
$\varepsilon = 35{,}35$ *см*	$W_{\text{п}}^{\text{ср}}(y,\ z) = 0{,}361$	$W_{\text{л}}^{\text{ср}}(y,\ z) = 0{,}189$	$a = 1{,}575$ $b = 3{,}21$ $c = 1{,}212$	$K_{\text{л}}^{\text{п}}$	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 λ, а также от пуско-

вой характеристики двигателя ψ. Сопротивления в свою очередь зависят от эксцентриситета ε.

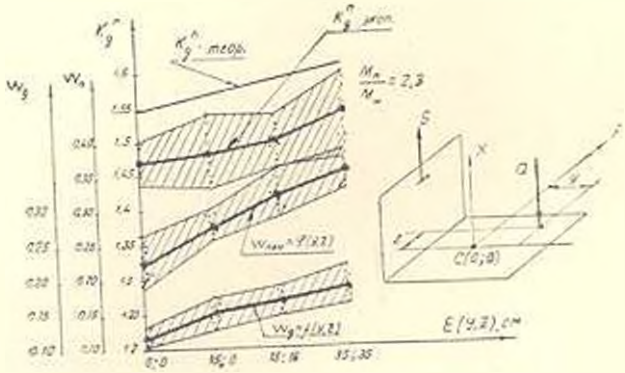

Рис. 3. Теоретические и экспериментальные значения коэффициентов динамичности, сопротивления перемещению при покое и движении при различных эксцентриситетах расположения груза на платформе.

При постоянном значении ψ 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 тензометрической тягой.

Полученные данные для коэффициентов сопротивления перемещению платформы при покое $W_п(y, z)$ и движении $W_д(y, z)$ при всех эксцентриситетах обработаны методами математической статистики. При этом среднее значение коэффициентов сопротивления $W_д^{ср}$ и $W_п^{ср}$ и средние квадратические отклонения s были получены на ЭЦВМ „Наири".

Как видно из графиков, доверительные оценки в разных сечениях (при разных эксцентриситетах груза на платформе) разные. Проверки результатов нормальности распределения коэффициентов сопротивления по критерию χ^2 показала, что закон распределения вероятностей по сечениям нормальный. Один из графиков кривой распределения для коэффициентов сопротивления перемещению $W_д(y, z)$, относящийся к эксцентриситету $\varepsilon = 35; 35$, имеющему $W_д^{ср} = \bar{X} = 0{,}189$, $s = 0{,}023$, приведен на рис. 4а, и для коэффициента сопротивления покою $W_п(y, z)$, при $\varepsilon = 35; 0$, $W_п^{ср} = \bar{X} = 0{,}283$; $s = 0{,}023$ — 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 эксцентричность 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 строительных мачтовых подъемников больших грузоподъемностей и высот.

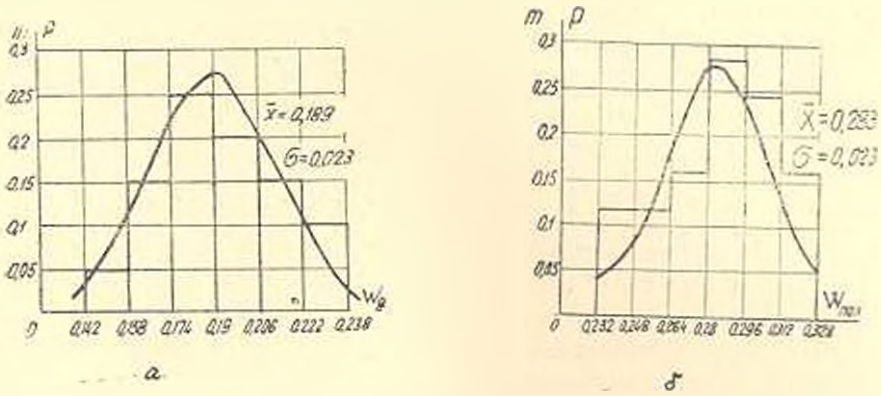

Рис. 4. Графики кривой распределения для коэффициентов: а) сопротивления перемещению $W_д$ (35; 35); б) сопротивления покою $W_п$ (35; 0).

ЕрПИ им. К. Маркса

Поступило 26.III.1979

ЛИТЕРАТУРА

1. *Карапетян А. С.* Динамические нагрузки в строительных мачтовых подъемниках. «Промышленность Армении», 1973, № 4.
2. *Санин 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 строительных подъемников. Сб. «Строительные и дорожные машины», разд. 2, вып. 3, М., ЦНИИТЭстроймаш, 1971.