

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПУСКАНИЯ ГРУЗА МОСТОВЫМ КРАНОМ ПРИ СТОПОРНОМ ТОРМОЖЕНИИ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА И ОБРЫВЕ КАНАТА

Стукаленко М.И. (Одесская государственная академия
строительства и архитектуры, г. Одесса)

Разработана математическая модель в соответствии с новым подходом к разработке динамических и математических моделей подъема мостовых кранов, учитывающим упругую связь груза с металлоконструкцией. Приведены результаты численного решения полученных систем уравнений.

С целью повышения безопасности работы подъемных сооружений проводится целый комплекс мероприятий, в котором наметилось отдельное направление, заключающееся в решении задач по предотвращению аварии в случае обрыва подъемного каната. Применительно к мостовым кранам решение задач имеет свою специфику и предусматривает оснащение их безопасными сдвоенными полиспастами, обеспечивающими удержание груза при обрыве каната [1,2]. При этом исходным этапом является проведение исследований динамических процессов, происходящих в кранах при обрыве каната обычного полиспаста с уравнительным рычагом [3].

Целью данной статьи является разработка математической модели, предназначенной для проведения таких исследований для варианта работы крана в одном из худших режимов динамического его нагружения — опускании груза при стопорном торможении механизма подъема. Математическая модель разработана по новым динамическим моделям (рис. 1), учитывающим упругую связь груза не только с приводом, а и с металлоконструкцией [4]. На динамических моделях (рис. 1) обозначено: m_g , $m_{п}$, m_m и u_g , $u_{п}$, u_m — соответственно масса груза, приведенные массы привода, металлоконструкции и перемещения указанных масс; $S_{гп}$, $S_{гм}$, F — усилия в упругих связях “груз — привод”, “груз — металлоконструкция”, “металлоконструкция — основание”, соответственно; $c_{гп}$, $c_{гм}$, $c_{мо}$ и $c_{гп.о}$, $c_{гм.о}$ — соответственно, жесткости указанных упругих связей при нормальной работе крана и после обрыва каната; T — приведенное тормозное усилие тормоза механизма

подъема; G — вес груза; h — приведенная длина участка свободного хода уравнительного рычага.

Движение масс делится на пять этапов: 1) приложение усилия T к массе m_{II} до ее остановки (рис. 1, а); 2) обрыв одного из канатов, выбор слабины ветвей целого каната падающим грузом (рис. 1, б); 3) приложение веса груза к указанным ветвям, т.е. увеличение усилия в ветвях целого каната до величины, при которой $S_{ГП} + S_{ГМ} = T$ (рис. 1, в); 4) торможение массы m_{II} усилием T до ее остановки (рис. 1, г); 5) колебание масс $m_{Г}$ и $m_{М}$ (рис. 1, в).

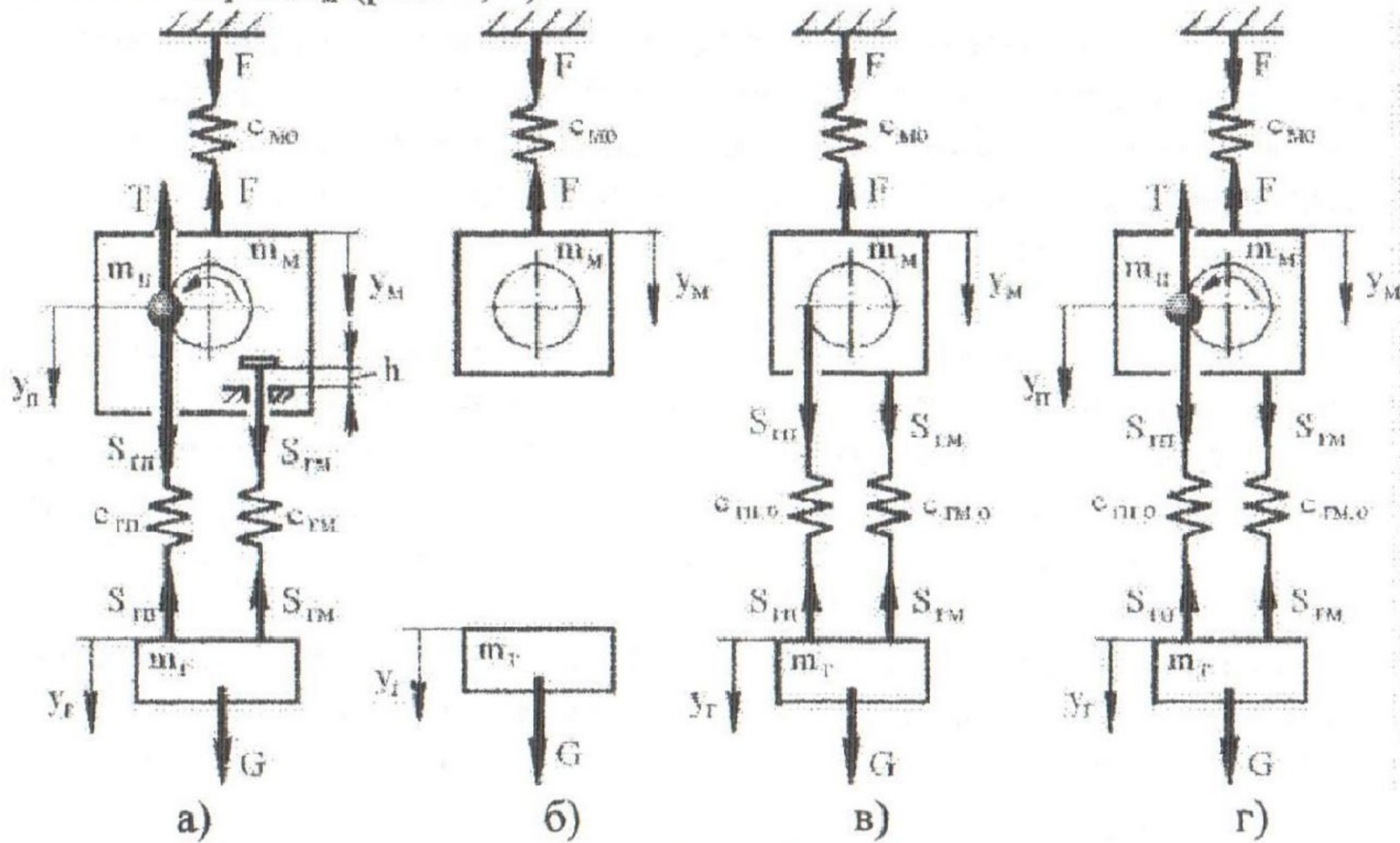


Рис. 1

На первом этапе движения масс описывается системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} m_{Г} \ddot{y}_{Г} + (c_{ГП} + c_{ГМ}^п)(y_{Г} - y_{М} - y_{II}) = G; \\ m_{II} \ddot{y}_{II} - (c_{ГП} + c_{ГМ}^п)(y_{Г} - y_{М} - y_{II}) = -k_{Т} G; \\ m_{М} \ddot{y}_{М} - (c_{ГП} + c_{ГМ}^п)(y_{Г} - y_{М} - y_{II}) + c_{мо} y_{М} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $c_{ГМ}^п = \frac{c_{ГМ} \cdot c_{мо}}{c_{ГМ} + c_{мо}}$ — приведенная жесткость упругой связи "груз —

металлоконструкция" [4];

$k_{Т}$ — коэффициент запаса торможения.

Начальные условия

$$t_1 = 0, y_{\Gamma} = \frac{G}{c_{\Gamma\Pi} + c_{\Gamma M}^{\Pi}} + \frac{G}{c_{MO}}, \dot{y}_{\Gamma} = v_{\Gamma}, y_{\Pi} = 0, \dot{y}_{\Pi} = v_{\Gamma}, y_M = \frac{G}{c_{MO}}, \dot{y}_M = 0,$$

где $\dot{y}_{\Gamma}, \dot{y}_{\Pi}, \dot{y}_M$ — скорости масс m_{Γ}, m_{Π}, m_M , в начале первого этапа;
 v_{Γ} — скорость опускания груза до начала торможения.

Условие перехода ко второму этапу $\dot{y}_{\Pi} = 0$.

На втором этапе движение масс описывается системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} m_{\Gamma} \ddot{y}_{\Gamma} = G; \\ m_M \ddot{y}_M + c_{MO} y_M = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Начальные условия для второго этапа

$$t_2 = 0, y_{\Gamma} = (y_{\Gamma})_1, \dot{y}_{\Gamma} = (\dot{y}_{\Gamma})_1, y_M = (y_M)_1, \dot{y}_M = (\dot{y}_M)_1,$$

где $(y_{\Gamma})_1, (y_M)_1$ и $(\dot{y}_{\Gamma})_1, (\dot{y}_M)_1$ — перемещения и скорости масс m_{Γ}, m_M в конце первого этапа.

Условие перехода к третьему этапу

$$v_{\Gamma,0} t + \frac{gt^2}{2} = h - \frac{S_{\Gamma\Pi,0} + S_{\Gamma M,0}}{c_{\Gamma\Pi} + c_{\Gamma M}^{\Pi}} - [(y_M)_1 - y_M],$$

где $v_{\Gamma,0}$ — скорость груза в момент обрыва каната;

t, g — время и ускорение свободного падения груза;

$S_{\Gamma\Pi,0}, S_{\Gamma M,0}$ — усилия в упругих связях "груз — привод" и "груз — металлоконструкция" в момент обрыва каната.

На третьем этапе система уравнений, описывающих движение масс

$$\begin{cases} m_{\Gamma} \ddot{y}_{\Gamma} + (c_{\Gamma\Pi,0}^{\Pi} + c_{\Gamma M,0}^{\Pi})(y_{\Gamma} - y_M) = G; \\ m_M \ddot{y}_M - (c_{\Gamma\Pi,0}^{\Pi} + c_{\Gamma M,0}^{\Pi})(y_{\Gamma} - y_M) + c_{MO} y_M = 0. \end{cases} \quad (3)$$

где $c_{\Gamma\Pi,0}^{\Pi} = \frac{c_{\Gamma\Pi,0} \cdot c_{MO}}{c_{\Gamma\Pi,0} + c_{MO}}$ и $c_{\Gamma M,0}^{\Pi} = \frac{c_{\Gamma M,0} \cdot c_{MO}}{c_{\Gamma M,0} + c_{MO}}$ — приведенные жесткости

упругих связей "груз — привод" и "груз — металлоконструкция" после обрыва каната.

Начальные условия

$$t_3 = 0, y_{\Gamma} = (y_M)_2, \dot{y}_{\Gamma} = (\dot{y}_{\Gamma})_2, y_M = (y_M)_2, \dot{y}_M = (\dot{y}_M)_2,$$

где $(y_m)_2$ и $(\dot{y}_r)_2, (\dot{y}_m)_2$ — перемещение массы m_m и скорости масс m_r и m_m в конце второго этапа.

Условие перехода к четвертому этапу $S_{гп} + S_{гм} > T = k_r G$.

Система дифференциальных уравнений, описывающих движение масс на четвертом этапе, записывается в виде

$$\begin{cases} m_r \ddot{y}_r + (c_{гп.о} + c_{гм.о}^п)(y_r - y_m - y_{п}) = G; \\ m_m \ddot{y}_m - (c_{гп.о} + c_{гм.о}^п)(y_r - y_m - y_{п}) + c_{мо} y_m = 0; \\ m_{п} \ddot{y}_{п} - (c_{гп.о} + c_{гм.о}^п)(y_r - y_m - y_{п}) = -k_r G. \end{cases} \quad (4)$$

Начальные условия

$$t_4 = 0, y_r = (y_r)_3, \dot{y}_r = (\dot{y}_r)_3, y_m = (y_m)_3, \dot{y}_m = (\dot{y}_m)_3, y_{п} = \dot{y}_{п} = 0,$$

где $(y_r)_3, (y_m)_3$ и $(\dot{y}_r)_3, (\dot{y}_m)_3$ — перемещения и скорости масс m_r и m_m в конце третьего этапа.

Условие перехода к пятому этапу $\dot{y}_{п} = 0$.

Движение масс на пятом этапе описывается системой (3).

Начальные условия

$$t_5 = 0, y_r = (y_r)_4 - (y_{п})_4, \dot{y}_r = (\dot{y}_r)_4, y_m = (y_m)_4, \dot{y}_m = (\dot{y}_m)_4,$$

где $(y_r)_4, (y_{п})_4, (y_m)_4$ — перемещения масс $m_r, m_{п}$ и m_m в конце четвертого этапа;

$(\dot{y}_r)_4, (\dot{y}_m)_4$ — скорости масс m_r и m_m в конце четвертого этапа.

Для примера, системы дифференциальных уравнений, описывающих движение масс, решены численным методом для мостового крана грузоподъемностью 20 т, остальные параметры: $m_r = 20,4$ т; $m_{п} = 382$ т; $m_m = 9,72$ т; $c_{гп} = 2382$ кН/м; $c_{гм} = 7146$ кН/м; $G = 199,9$ кН; $c_{мо} = 10750$ кН/м; $c_{гп.о} = 1191$ кН/м; $c_{гм.о} = 3573$ кН/м; $h = 0,05$ м; $k_r = 2$.

Результаты решения представлены в виде графиков (рис. 2) зависимости динамических нагрузок действующих на металлоконструкцию — F и полиспастный подвес — S от времени. Графики разбиты на пять участков, соответствующих этапам движения масс. Максимальные нагрузки $F = 680$ кН, $S = 520$ кН возникают на четвертом этапе.

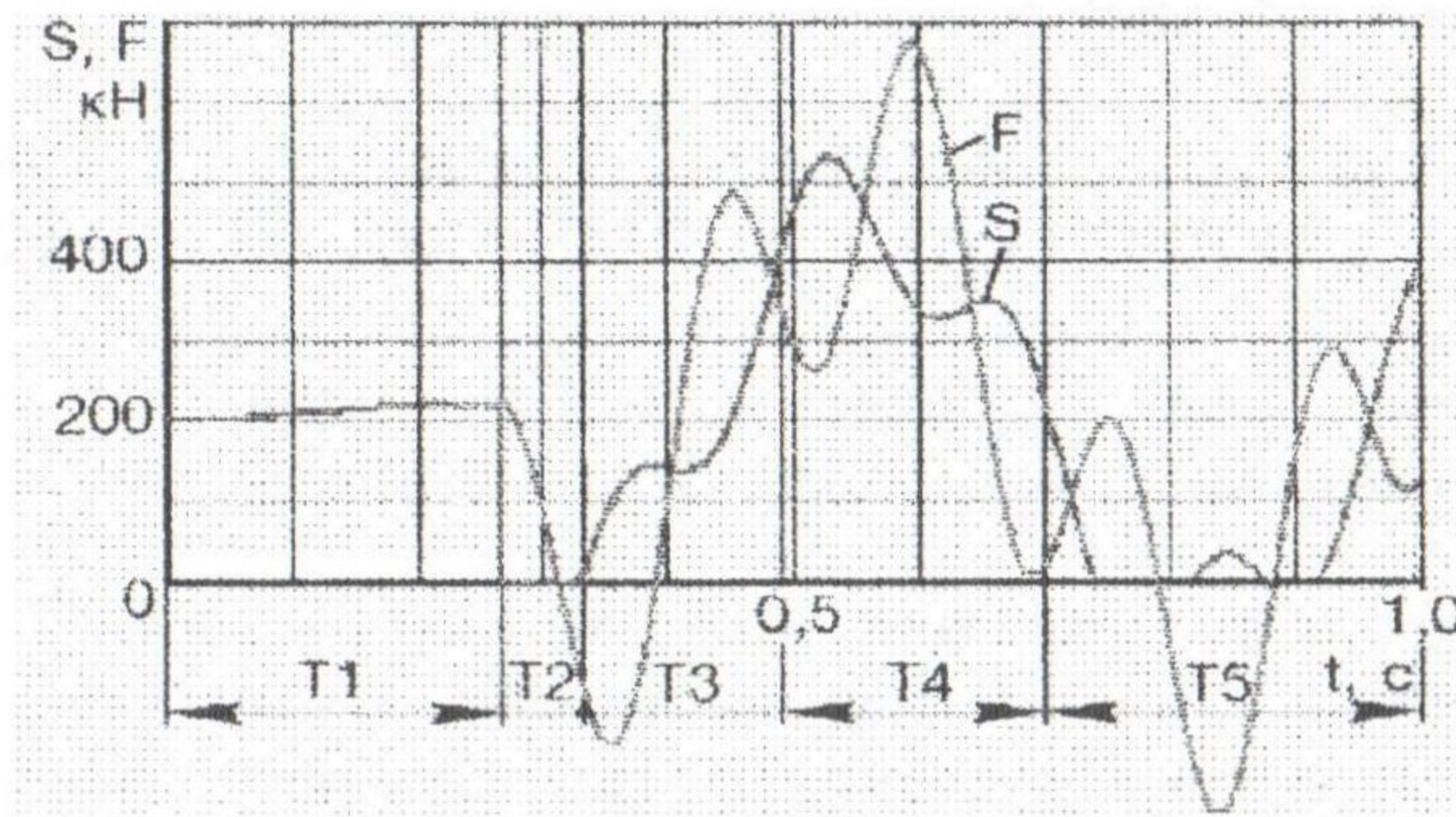


Рис. 2

Выводы

1. Применение разработанной математической модели позволит более точно исследовать динамические процессы, происходящие при обрыве каната в рассмотренном режиме динамического нагружения крана, вследствие учета упругой связи груза с металлоконструкцией.
2. Полученные результаты решения для данной конструкции крана свидетельствуют:
 - более нагруженной является металлоконструкция;
 - коэффициенты динамического нагружения: металлоконструкции $k_m = 3,4$; полиспастного подвеса $k_p = 2,6$; целого каната $k_k = 5,2$;
 - при этом разрушение металлоконструкции неизбежно;
 - обрыв каната сдвоенного полиспаста с уравнительным рычагом при стопорном торможении механизма подъема в процессе опускания груза приведет к аварии крана.

Литература

1. Стукаленко М.И., Стукаленко А.М., Семенюк В.Ф. Создание безопасных сдвоенных полиспастов с уравнительными фрикционными устройствами // Подъемные сооружения и специальная техника. — Одесса, 2001. № 2. — С. 9 — 11.
2. Патент України 33449. Безпечний здвоєний поліспаст / Стукаленко М.І., Стукаленко О.М., Семенюк В.Ф., Хвищук О.С. // Бюл. — 2001. — № 1.
3. Стукаленко М.И. Методы расчета и проектирования устройств безопасности, предотвращающих аварию грузоподъемных машин при обрыве подъемного каната. Дис.канд.техн.наук: 05.05.05. — Одесса, 1996. — 289 с.
4. Стукаленко М.И. О новом подходе к разработке динамических и математических моделей подъема мостовых кранов. // Подъемные сооружения. Специальная техника. — Одесса, 2003. — № 1. — С. 8 — 9.