УДК 621.86

© **Нестеров А. П., Осипова Т. Н.**

ДИНАМИКА КАНАТОВ ПРИ ЗАКЛИНИВАНИИ В СТВОЛЕ ПОДНИМАЮЩЕГОСЯ СОСУДА

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Наиболее опасным режимом работы шахтного подъемника является резкая задержка поднимающегося сосуда в стволе шахты. Такой случай может возникнуть при выпучивании направляющих [1, 2]. Это приводит к увеличению динамических напряжений канатов, к снижению его запаса прочности и разрыву каната. Поэтому необходимо определить действительные динамические запасы прочности канатов в этом аварийном режиме.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью проведенных нами исследований являлось определение динамических запасов прочности ветвей канатов при заклинивании поднимающегося сосуда в стволе шахты в зависимости от высоты заклинивания клети и начальной скорости, изменяющейся в пределах υ_0 = 3 м/с … 10 м/с.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Схема клетьевой подъемной установки при заклинивании поднимающегося сосуда в стволе показана на рис. 1. Динамическая эквивалентная схема представлена на рис. 2.

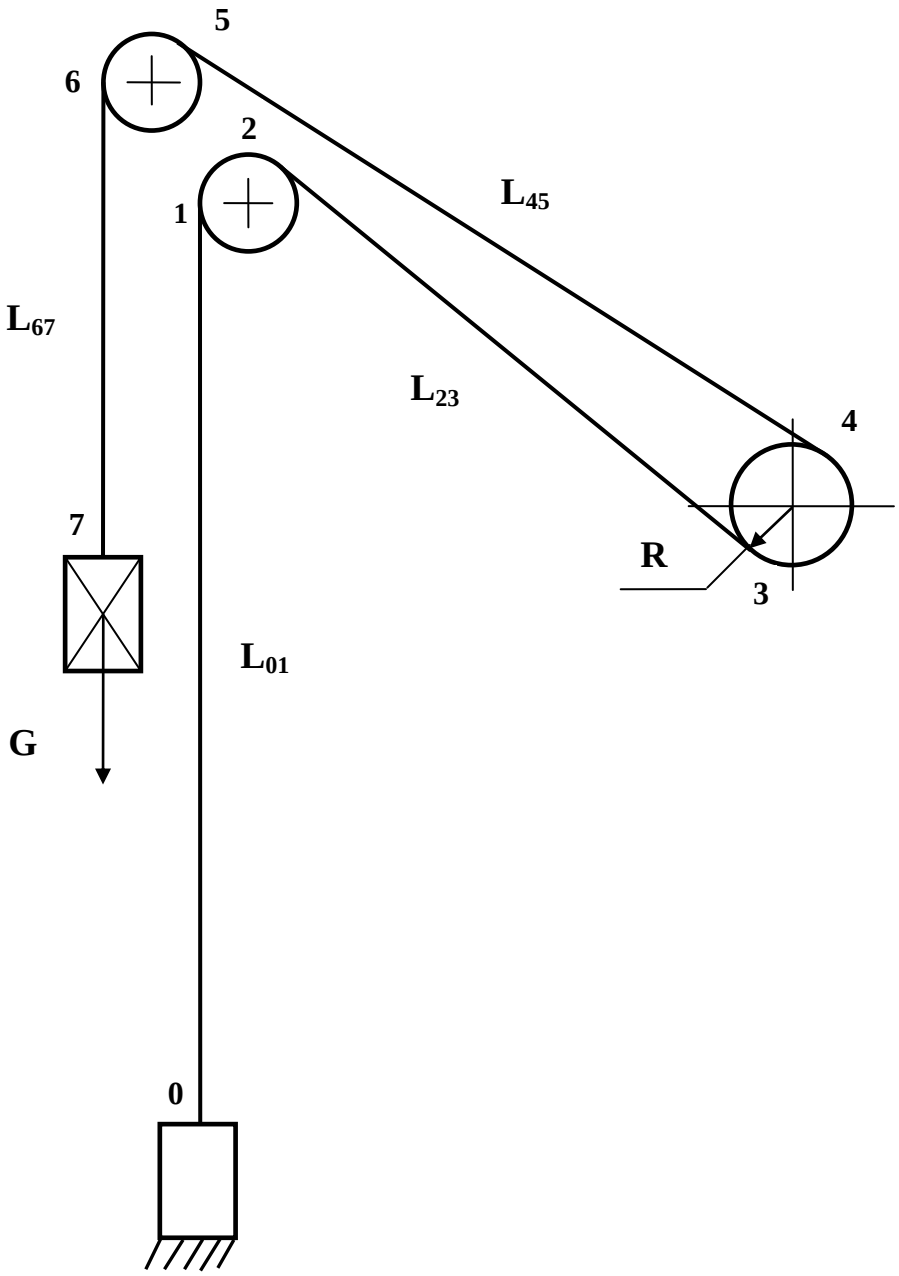


Рис. 1 – Схема подъемной установки при заклинивании поднимающегося сосуда в стволе: G – вес концевого груза; R = 3 м – радиус барабана; L_{01} – длина каната между заклиненным сосудом и направляющим шкивом; L_{23} – длина каната между направляющим шкивом и барабаном; L_{45} – длина каната между барабаном и направляющим шкивом; L_{67} – длина каната между направляющим шкивом и опускающимся сосудом

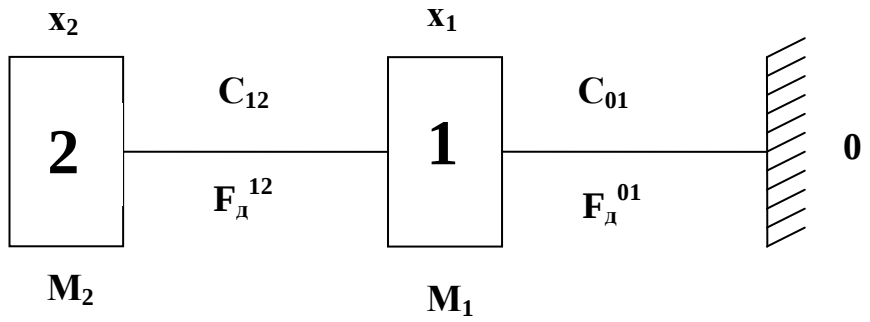


Рис. 2 - Динамическая эквивалентная схема поступательно движущихся подъемных сосудов: M_1 – приведенная к канату масса барабана; M_2 – масса концевого груза; C_{01} – жесткость каната между заклиненным сосудом и барабаном; C_{12} – жесткость каната между барабаном и опускающимся сосудом; x_1, x_2 – координаты дискретных масс; $F_д^{01}$ – динамическое усилие в канате между заклиненным сосудом и барабаном; $F_д^{12}$ – динамическое усилие в канате между барабаном и опускающимся сосудом

Колебание координат в эквивалентной схеме описывается следующей системой обыкновенных однородных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами

$$\left.\begin{aligned} &Ì_1\ddot{\tilde{o}}_1+\tilde{N}_{01}\tilde{o}_1+\tilde{N}_{12}\tilde{o}_1-\tilde{N}_{12}\tilde{o}_2=0;\\ &Ì_2\ddot{\tilde{o}}_2+\tilde{N}_{12}\tilde{o}_2-\tilde{N}_{12}\tilde{o}_1=0,\end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

со следующими начальными условиями при t = 0 $x_1(0) = 0$, $\dot{\tilde{o}}_1(0)=\upsilon_0$,

$x_2(0) = 0$, $\dot{\tilde{o}}_2(0)=\upsilon_0$.

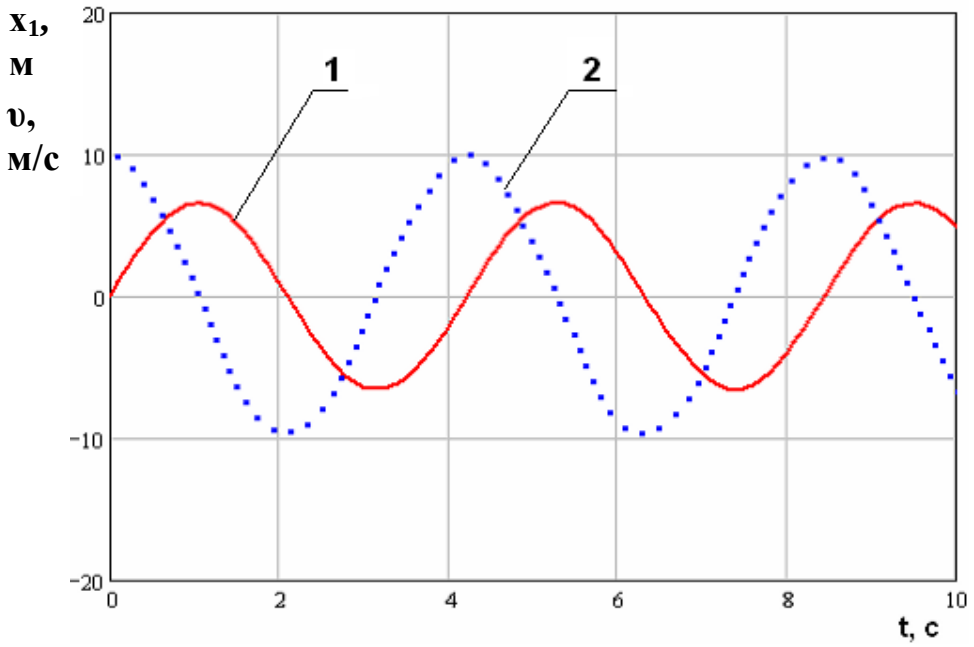
Для определения динамических усилий в упругих связях используются следующие выражения

$$\begin{aligned} &F_ä^{01}=c_{01}\tilde{o}_1^{max},\\ &F_ä^{12}=c_{12}(\tilde{o}_2^{max}-\tilde{o}_1^{max}).\end{aligned} \qquad (3)$$

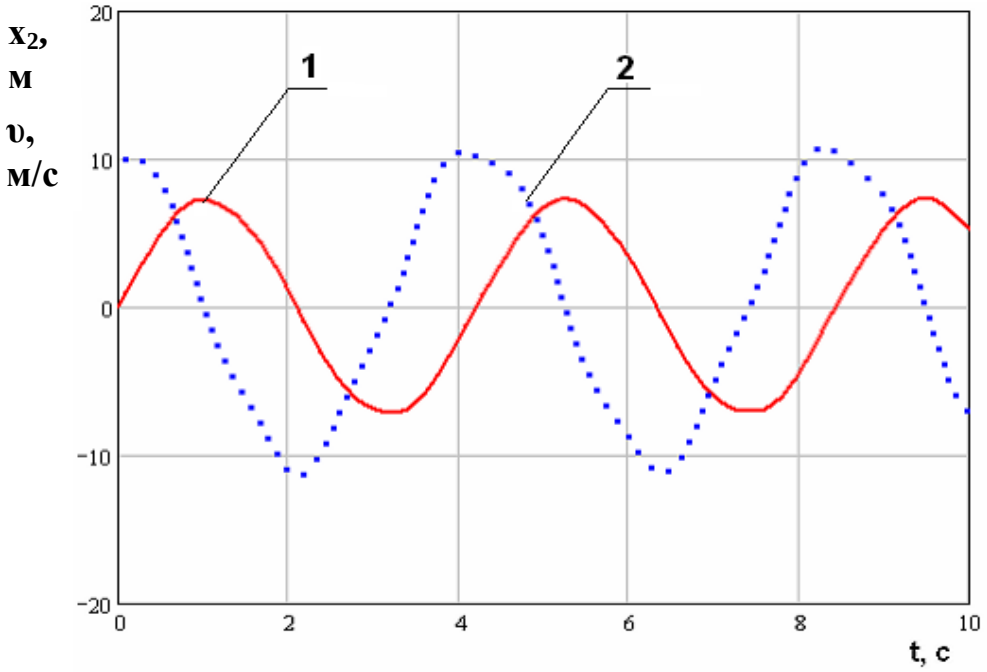
Проведем численный эксперимент, рассмотрев ряд случаев со следующими исходными данными: масса концевого груза – M_2 = 19,396 т; вес концевого груза G = 190,274 кН; масса барабана с учетом приведенных

масс редуктора и двух двигателей M_1 = 72,222 т; жесткость каната длиной L_{01} – C_{01} = var; жесткость каната длиной L_{67} - C_{12} = var

На рис. 3 приведены осциллограммы решения дифференциальных уравнений (1), из которых видно, что при заклинивании поднимающегося сосуда возникают колебания дискретных масс с двумя главными частотами.



а)



б)

Рис 3 – Осциллограммы перемещений дискретной массы (1) и её скорости (2) при υ_0 = 10 м/с: а) первая масса; б) вторая масса

Данные численного эксперимента сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Динамические параметры клетьевой подъемной установки

№ п/п	Максимальная начальная скорость, υ_0, м/с	Масса каната, приведенная к дискретным массам, т [3]		Координаты перемещения дискретных масс, м		Динамические усилия в ветвях канатов, кН		Динамический запас прочности ветвей канатов	
		$M_к01$	$M_к12$	x_1	x_2	$F_ä^{01}$	$F_ä^{12}$	$m_ä^{01}$	$m_ä^{12}$
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Высота заклинивания L = 550 м									
1	3	2,821	2,24	2	2,2	436,5	110,5	2,43	5,215
2	5	2,821	2,24	3,3	3,6	720,21	165,75	1,721	4,45
3	7	2,821	2,24	4,8	5,2	1047,6	220,99	1,288	3,88
4	10	2,821	2,24	6,5	7,4	1418,6	497,2	1,002	2,366
Высота заклинивания L = 350 м									
1	3	2,821	4,599	1,7	2,25	538,5	170	2,175	4,165
2	5	2,821	4,599	2,75	3,7	871,14	293,65	1,52	3,186
3	7	2,821	4,599	3,8	5,1	1203,7	401,83	1,167	2,642
4	10	2,821	4,599	5,5	7,25	1742,3	540,9	0,849	2,167
Высота заклинивания L = 150 м									
1	3	2,821	6,957	1,25	2,45	721,87	257,5	1,798	3,277
2	5	2,821	6,957	2	4	1155	429,15	1,227	2,453
3	7	2,821	6,957	2,8	5,6	1617	600,8	0,917	1,96
4	10	2,821	6,957	4,05	8	2338,9	847,57	0,657	1,521

Динамические запасы прочности в ветвях каната равны [4]

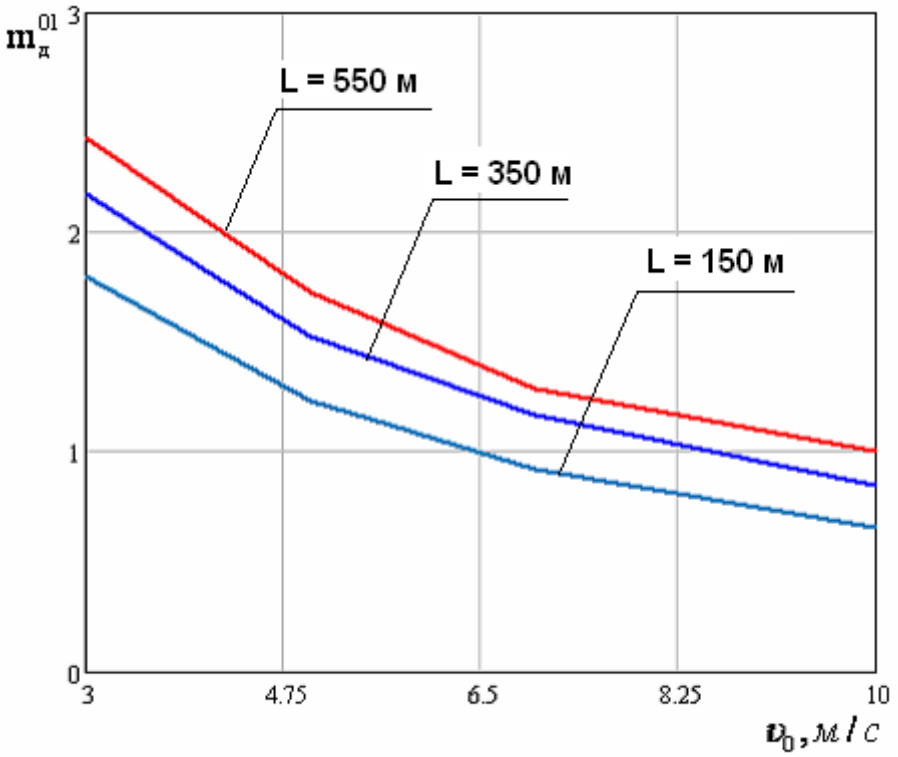
$$m_ä^{01} = \frac{G_p}{G + p*g*L_{01} + F_ä^{01}}, \quad (4)$$

$$m_ä^{12} = \frac{G_p}{G + p*g*L_{67} + F_ä^{12}} \quad (5)$$

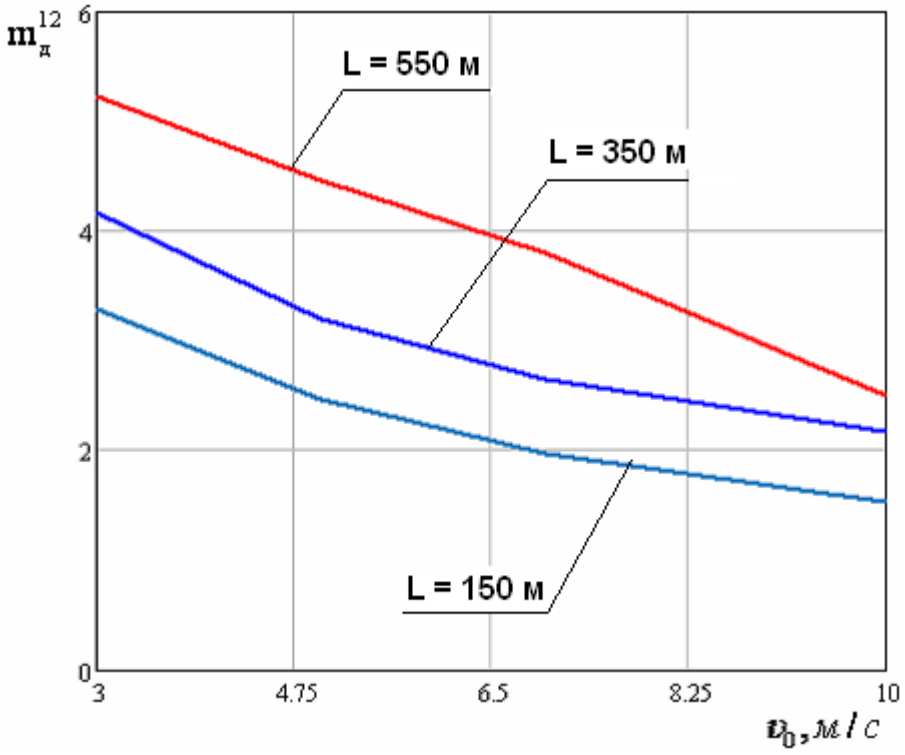
где G_p = 1675 кН – суммарное разрывное усилие всех проволок каната;

$p = 10{,}95*10^{-3}$ т/м – погонная масса 1 м смазанного каната.

Графики изменения запасов прочности ветвей канатов в зависимости от высоты заклинивания клети и максимальной начальной скорости дискретных масс представлены на рис. 4.



а)



б)

Рис. 4 – Графики изменения запасов прочности ветвей канатов в зависимости от высоты заклинивания клети и максимальной начальной скорости дискретных масс: а) канат длиной L_{01}; б) канат длиной L_{67}

ВЫВОДЫ

1. Получена динамическая эквивалентная схема клетьевого подъемника при заклинивании сосуда в стволе, вследствие выпучивания направляющих.
2. Составлена система дифференциальных уравнений движения опускающегося сосуда при заклинивании поднимающегося.
3. На основании численного эксперимента определены перемещения дискретных масс, динамические усилия в ветвях канатов и динамические запасы прочности в зависимости от высоты заклинивания клети и максимальной начальной скорости дискретных масс.
4. Динамические запасы прочности ветвей канатов в зависимости от высоты заклинивания клети и начальной скорости изменяются в пределах 0,657 … 5,215.
5. При заклинивании поднимающейся клети в стволе с начальной скоростью более 5 м/с произойдет обрыв каната этой клети.

Список использованных источников

1. Динник А. И. Динамические напряжения в подъемном канате при внезапной остановке верхнего конца / А. И. Динник // Южный инженер. – 1917. – № 3–4.
2. Флоринский Ф. В. Динамика шахтного подъемного каната / Ф. В. Флоринский. – М. : Углетехиздат, 1955. – 238 с.
3. Федорова З. М. Подъемники : учеб. пособие для машиностр. спец. вузов / З. М. Федорова, И. Ф. Лукин, А. П. Нестеров ; под ред. З. М. Федоровой. – К. : Вища шк., 1976. – 296 с.
4. Нестеров А. П. Динамические усилия в канатах шахтного подъемника / А. П. Нестеров, Т. Н. Осипова // Наук. вісн. будівництва / ХДТУБА. – Х., 2006. – Вип. 37. – С. 78–84.

Нестеров А. П., Осипова Т. Н. Динамика канатов при заклинивании в стволе поднимающегося сосуда

В статье определяются динамические запасы прочности канатов при заклинивании в стволе поднимающегося сосуда.

Нестеров А. П., Осипова Т. М. Динаміка канатів при заклинюванні у стволі судини, що підіймається

У статті визначаються динамічні запаси міцності канатів при заклинюванні в стволі судини, що підіймається.

Nesterov A. P., Osypova T. N. Dynamics of ropes at wedging in the barrel of rising vessel

The dynamicmargins of safety of ropes at wedging in the barrel of rising vessel are determined in the article.