

УДК 621.86

© Нестеров А.П., Осипова Т.Н., Иваночко В.М.

## МАКСИМАЛЬНЫЕ ИНЕРЦИОННЫЕ НАГРУЗКИ ОДНОКОНЦЕВОГО КЛЕТЕВОГО ПОДЪЕМНИКА

### 1. Постановка проблемы

При расчете динамических нагрузок в канатах подъемника принимают усредненные значения ускорений и замедлений, что приводит к занижению инерционных нагрузок. На основе проведенных промышленных экспериментов на шахтной подъемной установке необходимо определять ее действительные максимальные значения кинематических и динамических параметров.

### 2. Цель исследований

Цель исследований – определить максимальные инерционные силы в канатах одноконцевого клетевого подъемника типа 1–6х2,4Д на основе экспериментальных исследований и их влияние на запас прочности каната.

### 3. Основное содержание

При расчете движущего динамического усилия на радиусе обода органа навивки по формуле академика М.М. Федорова [1] для двухконцевого шахтного подъемника проектировщики принимают ускорение и замедление постоянными величинами, а диаграмму скорости – трапецеидальной [2]

$$F_{дв} = kQ_{гр} - \Delta(H_{под} - 2x) \pm M(d^2x/dt^2), \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент сопротивления движению подъемных сосудов в стволе шахты для клетевых подъемников;

$Q_{гр}$  – вес полезного поднимаемого груза;

$\Delta = (q - p)$  – разность веса 1 м хвостового  $q$  и головного  $p$  канатов;

$H_{под}$  – высота подъема;

$x$  – путь, который прошел сосуд от приемной площадки;

$M$  – приведенная масса подъемной установки;

$(d^2x/dt^2)$  – ускорение (замедление) системы подъема.

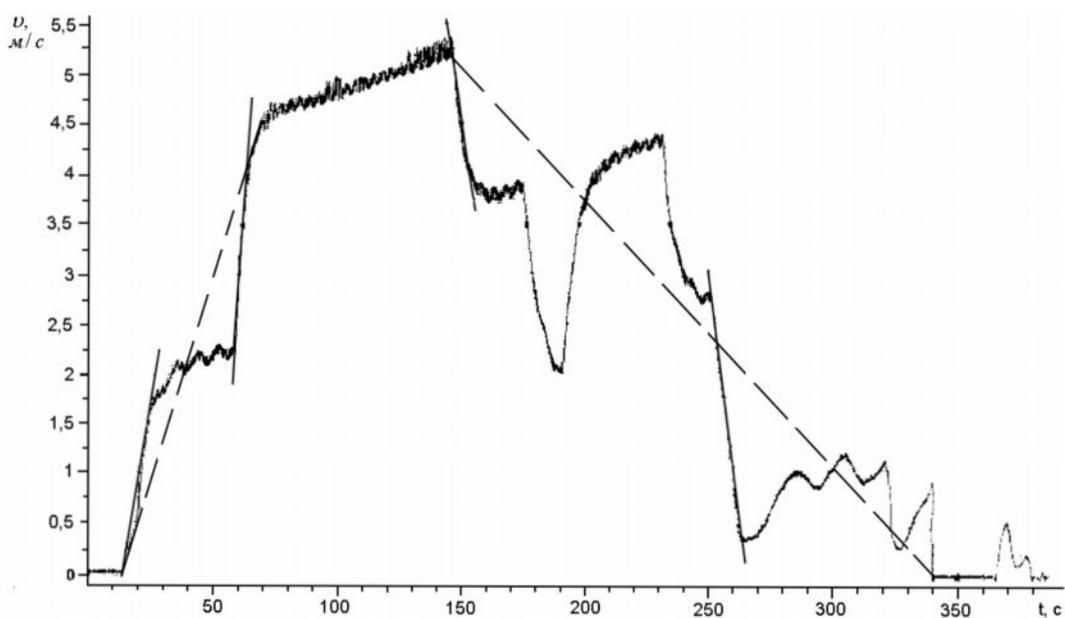
Для одноконцевого подъемника формула (1) примет вид

$$F_{дв} = kQ_{конц} + p(H_{под} - x) \pm M(d^2x/dt^2), \quad (2)$$

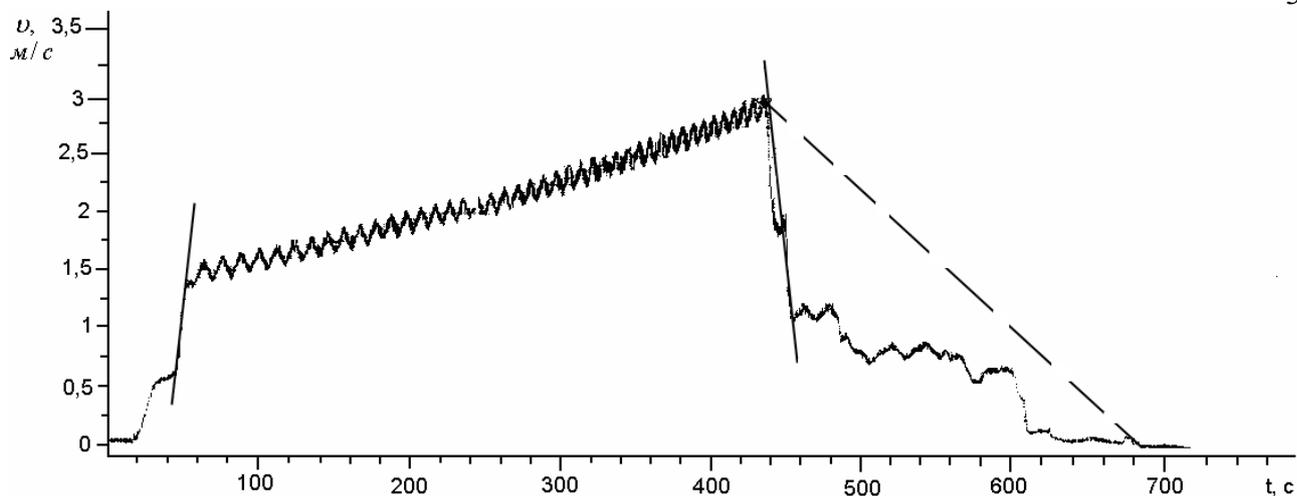
где  $Q_{конц}$  – вес концевого груза;

$p$  – вес одного метра каната.

Экспериментальные исследования на действующих промышленных установках [3] показали, что кинематические и динамические параметры подъемника при рабочих режимах изменяются не по линейному закону. На рис. 1 а,б представлены осциллограммы скорости одноконцевого клетового подъемника при подъеме и опускании груза. Из них видно, что скорость при разгоне и замедлении изменяется ступенчато, а при равномерном ходе постоянно возрастает. При определении кинематических параметров подъема по диаграмме скорости принимают ее среднее значение [4], возрастающее по прямой линии (пунктирные линии на осциллограммах). Это ведет к уменьшению среднего ускорения, принимаемого постоянным, и соответственно, к уменьшению инерционных нагрузок в подъемнике. Из осциллограмм (см. рис. 1 а, б) видно, что ускорение и замедление изменяются скачкообразно. Прямые линии на скорости – участки максимального ускорения и замедления



а)



б)

**Рис. 1** – Осциллограммы скорости подъемника: а) подъем груза; б) спуск груза

В табл. 1 приведены средние и максимальные значения ускорений и замедлений подъемной машины.

**Таблица 1** - Значения ускорений и замедлений подъемной машины при рабочих режимах

Режим работы подъемника	Ускорение, м/с <sup>2</sup>		Замедление, м/с <sup>2</sup>	
	среднее расчетное	максимальное	среднее расчетное	максимальное
Подъем груза	0,0778	0,156	0,0262	0,167
Спуск груза	0,035	0,176	0,0142	0,161

Из табл. 1 видно, что их максимальные значения гораздо больше, чем средние. Это ведет к увеличению динамических нагрузок в канатах и уменьшению их запасов прочности, которые рассчитываются по следующим формулам с заданными исходными данными:

$$\checkmark \text{ для нижнего сечения } m_i = \frac{Q_{\delta\alpha\zeta}}{Q_{\epsilon i \delta} \pm k' Q_{\epsilon i \delta} + m_{\epsilon i \delta} a_j}, \quad (3)$$

где  $Q_{\text{раз}} = 1500000 \text{ Н}$  – разрывное усилие всех проволок каната;

$Q_{\text{конц}} = Q_{\text{кл}} + Q_{\text{гр}} + Q_{\text{ваг}} = 142833,6 \text{ Н}$  – вес концевого груза;

$Q_{\text{кл}} = 71613 \text{ Н}$  – вес клетки;

$Q_{\text{гр}} = 58860 \text{ Н}$  – полезный вес груза;

$Q_{\text{ваг}} = 12360,6 \text{ Н}$  – вес вагонетки;

$$k = 0,15;$$

$m_{\text{конц}} = 14560$  кг – масса концевого груза;

$a_j$  – ускорение (замедление) системы подъема ( $j = 1, 2$ );

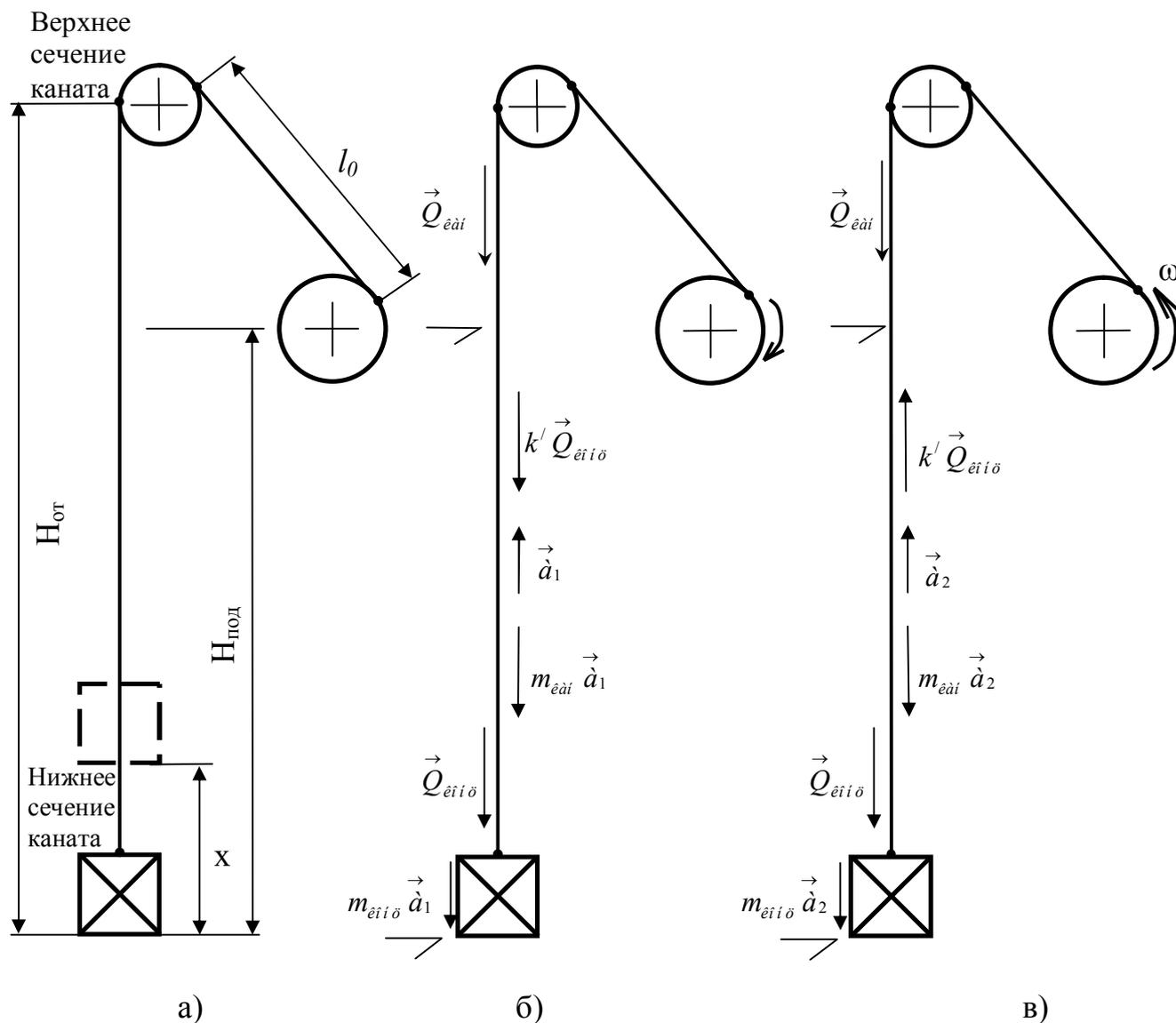
в знаменателе знак «+» ставится при подъеме груза, знак «-» - при спуске груза (см. рис. 2);

$$\checkmark \text{ для верхнего сечения } m_a = \frac{Q_{\delta a \zeta}}{Q_{\dot{e}i\ddot{o}} \pm kQ_{\dot{e}i\ddot{o}} + Q_{\dot{e}a\dot{i}} + (m_{\dot{e}i\ddot{o}} + m_{\dot{e}a\dot{i}} + m_{i.o})a_j} \quad (4)$$

где  $Q_{\text{кан}} = \rho H_{\text{от}} = 86606,6$  Н – вес каната [2];

$m_{\text{кан}} = 9254,3$  кг – масса длины каната до барабана [5];

$m_{\text{н.ш}} = 625$  кг – масса направляющего шкива.



**Рис. 2** – Схемы одноконцевой подъемной установки: а) конструктивная; б) при подъеме груза; в) при спуске груза и предохранительном торможении

В табл. 2 приведены динамические запасы прочности каната при максимально допустимых значениях ускорений и замедлений по правилам безопасности [6] и технической эксплуатации в угольных шахтах [4] для грузоподъемного клетового подъемника.

**Таблица 2** - Динамические запасы прочности каната при подъеме и спуске груза при максимально допустимых значениях ускорений и замедлений для грузоподъемного подъемника

Параметр	Подъем груза	Спуск груза
Ускорение, м/с <sup>2</sup>	1,0	-
Замедление, м/с <sup>2</sup>	-	0,75
Запас прочности в нижнем сечении	8,39	11,34
Запас прочности в верхнем сечении	5,46	6,64

Из табл. 2 видно, что запасы прочности каната при подъеме груза отличаются при спуске груза.

В табл. 3 приведены значения запасов прочности каната статических и с учетом действительных инерционных нагрузок для исследуемой подъемной установки.

**Таблица 3** - Запасы прочности каната исследуемой подъемной установки

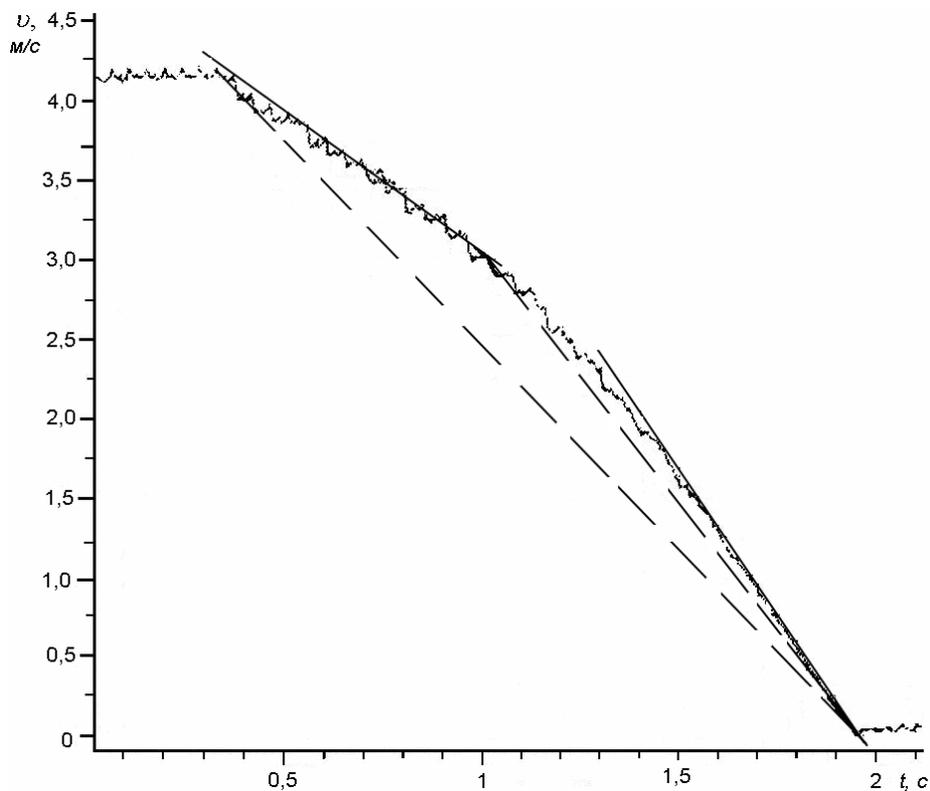
Сечение каната	С учетом инерционных нагрузок		Статические	
	При подъеме груза	При спуске груза	Допустимые по ПБ [2, 6]	Фактические
Нижнее	9,01	12,1	10	10,5
Верхнее	5,89	7,08	5	6,54

Анализируя данные табл.2 и табл. 3 можно сделать вывод:

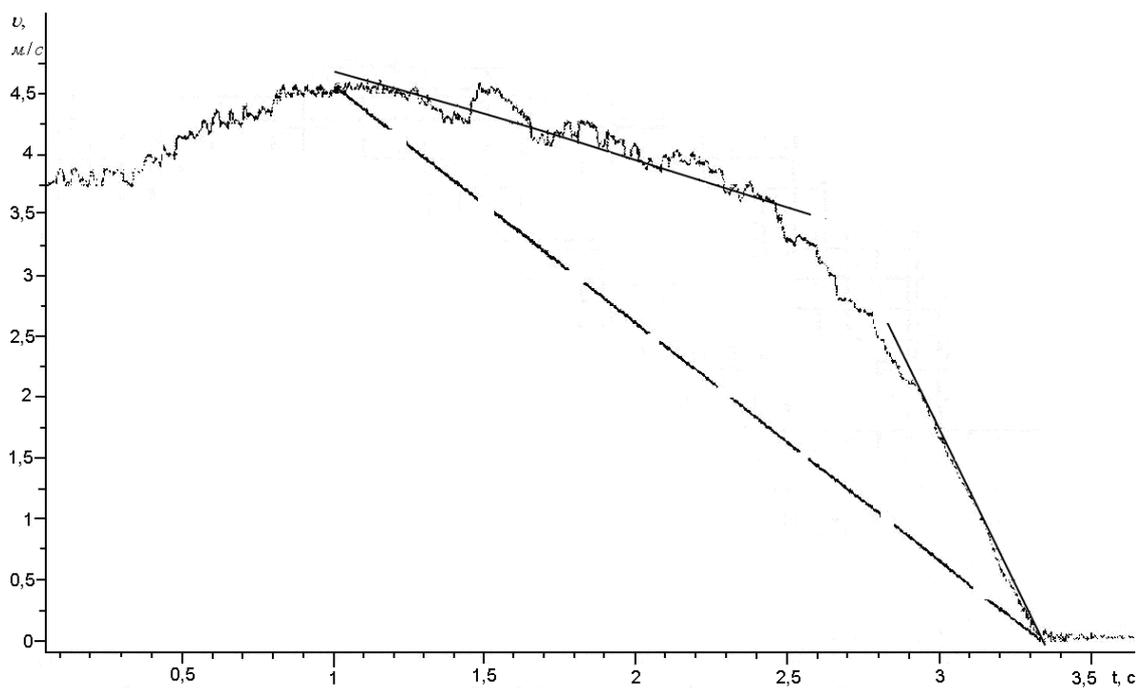
- ✓ запасы прочности каната при спуске груза увеличиваются за счет сил сопротивления движению по сравнению со статическими и допустимыми инерционными;
- ✓ запасы прочности каната при подъеме груза увеличиваются по сравнению с допустимым за счет меньшего значения ускорения и уменьшаются по сравнению с фактическими статическими из-за наличия сил инерции.

На рис. 3 приведены осциллограммы скорости подъема при предохранительном торможении на глубине ствола **800 м** при подъеме и спуске

груза. Анализ осциллограмм показал, что скорость подъема изменяется по нелинейному (выпуклому) закону из-за колебания каната. Среднее замедление значительно меньше максимального (см. табл. 4).



а)



б)

**Рис. 3** – Осциллограммы скорости при предохранительном торможении на глубине ствола 800 м: а) подъем груза; б) спуск груза

**Таблица 4** – Замедления при предохранительном торможении подъемника

Режим работы подъемника	Среднее допустимое по ПБ [6], м/с <sup>2</sup>	Среднее расчетное, м/с <sup>2</sup>	Максимальные, м/с <sup>2</sup>
Подъем груза	не более 5,0	3,16	3,6
Спуск груза	не менее 1,5	1,94	4,83

Данные табл. 4 показывают, что максимальные замедления при предохранительном торможении больше средних. В результате увеличиваются действительные инерционные нагрузки на канат и уменьшается его запас прочности по сравнению с допустимыми статическими (см. табл. 5).

**Таблица 5** - Значения запасов прочности каната при предохранительном торможении

Сечение каната	Запасы прочности каната с учетом динамических нагрузок	
	при подъеме груза	при спуске груза
Нижнее	13,41	7,82
Верхнее	9,12	4,63

Из табл. 5 видно, что при предохранительном торможении запасы прочности каната при подъеме груза увеличиваются, а при спуске – уменьшаются по сравнению со статическими за счет инерционных сил.

## **Выводы**

Численная обработка осциллограмм экспериментальных исследований скорости, ускорения и замедления одноконцевой грузоподъемной установки показали, что ее действительные максимальные ускорения и замедления больше средних, что ведет к увеличению инерционных нагрузок на канат и уменьшению его запаса прочности по сравнению со статическими. Однако эти запасы прочности не ниже допустимых значений 2,5 ... 2,7, принимаемых в технике [5, 7].

### Список использованных источников

1. Федоров М. М. Избранные труды: В 2-х т. / М. М. Федоров. – К. : Изд-во АН УССР, 1957. – Т. 1 – 1957 ; Т. 2. – 1960.
2. 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
3. Ловейкин В.С. Динамическая оптимизация подъемных машин / В. С. Ловейкин, А. П. Нестеров. – Луганск : Вид-во СЛУ, 2002. – 368 с.
4. Правила технічної експлуатації вугільних шахт. – К., 2006. – 353 с.
5. Флоринский Ф. В. Динамика шахтного подъемного каната / Ф. В. Флоринский. – М. : Углетехиздат, 1955. – 238 с.
6. Правила безпеки у вугільних шахтах. НПАОП 10.0-1.01-05. / Держ. департамент з нагляду за охороною праці України. – К., 2005. – 398 с.
7. Решетов Д. Н. Детали машин : учеб. для машиностроит. и механ. спец. вузов / Д. Н. Решетов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1989. – 496 с.

***Нестеров А.П., Осипова Т.Н., Иваночко В.М.*** «Максимальные инерционные нагрузки одноконцевого клетового подъемника».

В статье рассмотрены результаты экспериментальных исследований одноконцевого подъемника, определены его максимальные значения кинематических и динамических параметров, а также их влияние на запас прочности каната.

***Нестеров А.П., Осипова Т.М., Иваночко В.М.*** «Максимальні інерційні навантаження однокінцевого кліткового підйомника».

У статті розглянуті результати експериментальних досліджень однокінцевого підйомника, визначені його максимальні значення кінематичних і динамічних параметрів, а також їхній вплив на запас міцності каната.

*Nesterov A., Osypova T., Ivanochko V.* «Maximal inertias loadings of mono-side cage lift».

In the article considered results of experimental researches of mono-side lift, his maximal values of kinematics and dynamic parameters, and also their influence, are certain on the margin of safety of rope.