

**ӨТӨРҮҮЧҮ ОРНОТМОНУН БОЛОТ АРКАНЫНЫН  
ЗЫМДАРЫНЫНЫ КЕРИЛҮСҮН ИЗИЛДӨӨ****ИССЛЕДОВАНИЕ НАТЯЖЕНИЯ ПРОВОЛОКИ  
СТАЛЬНОГО КАНАТА ДЛЯ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ****INVESTIGATION OF THE TENSION OF THE WIRES OF  
THE STEEL ROPE FOR THE HOISTING INSTALLATION**

**Таштанбаева В. О., Омуров Ж. М.**

**Tashtanbaeva V. O., Omurov J. M.**

Макалада ар кандай көтөрүүчү машиналардын негизги тартуучу элементтери болгон болот аркандар каралган. Аркандын көпкө чыдамдуулугуна аркан жетелечүү жылга чыгырыкта жана буруп кетүүчү сапсалгыларда пайда болгон бүктөлүүлөр чоң таасир этет. Узакка колдонууда болот аркандар ар кандай негативдүү факторлорго учурайт, алардын арасында кыйла чыңалуулар, сүрүлүү, жешилүү, дат басуу, агуу майышуу жана башкалар. Аркандын мүнөздөмөлөрүнүн арасынан туура тандоосуна жана колдонуусуна эки негизги факторлор таасир этет: дат басуу жана механикалык жешилүү. Ар кандай аркандык конструкциялардын серпилгич модулу ар кандай, бирок адатта ал металдын тура кесилишинин аянты көбөйгөн сайын жогорулайт жана тунтманы колдонуп, серпилгичтүү узаруусунун салыштырмалуу баалосун жүргүзсө болот, ал эгерде жогорку тактык талап кылынса, серпилгичтүү модулу чыныгы аркандын үлгүсүндө текшерүүсү сунушталат, бул иште ушул нерсе аткарылды.

В статье рассмотрены стальные канаты, которые относятся к основным тяговым элементам различных подъемных машин. На долговечность каната оказывают большое влияние перегибы каната на канатоведущем шкиве и отводных блоках. Во время длительной эксплуатации стальные канаты подвергаются воздействию различных негативных факторов, среди которых значительные напряжения, трение, износ, коррозия, пластическая деформация и т. д. Из характеристик каната для его правильного выбора и применения влияют два основных фактора: коррозия и механический износ. Модуль упругости для разных канатных конструкций различен, но обычно он увеличивается с нарастанием площади поперечного сечения металла, и, используя формулу, можно сделать относительную оценку упругого удлинения, а если требуется большая точность, рекомендуется проверить модуль упругости на реальном образце каната, что и было выполнено.

*The article discusses steel ropes, which belong to the main traction elements of various lifting machines. The durability of the rope is greatly influenced by the kinks*

*of the rope on the traction sheave and branch blocks. During long-term operation, steel ropes exposed to various negative factors, including significant stresses, friction, wear, corrosion, plastic deformation, etc. Two specific factors affect the characteristics of a rope, with its correct selection and application: corrosion and mechanical wear. The elastic modulus for different rope structures is different, but usually it increases with an increase in the cross-sectional area of the metal and using the formula, you can make a relative estimate of the elastic elongation, and if greater accuracy is required, it is recommended to check the elastic modulus on a real rope sample, which was done.*

**Түйүн сөздөр:** коопсуздук, серпилгичтүү узаруу, болот аркан, үзүлүү, керилүү, эсептелген жүк, майышуу, жешилүү. Таштанбаева В. О., Омуров Ж. М.

**Ключевые слова:** безопасность, упругое удлинение, стальной канат, обрыв, натяжение, расчетная нагрузка, деформация, износ.

**Keywords:** safety, elastic elongation, steel rope, break, tension, rated load, deformation, wear.

Стальные канаты относятся к основным тяговым элементам различных подъемных машин, механизмов, оборудования и представляют собой сложный и ответственный вид витой проволочной продукции. Как правило, все крупные подъемные канаты имеют внутри пеньковый сердечник, пропитанный маслом, который служит при эксплуатации каната источником смазки внутренней проволоки. По размеру проволоки канаты делятся на канаты из проволоки одного диаметра и на канаты из проволоки разного диаметра-компаунд [1].

Стальные канаты широко используются, а необходимые уровни надежности и безопасности конструкций, машин, механизмов, использующих стальные канаты, определяются прежде всего их качеством изготовления и текущим техническим состоянием. Во время длительной эксплуатации стальные канаты подвергаются воздействию различных негативных факторов, среди которых значительные напряжения, трение и износ, влажность и коррозия, пластическая деформация и т. д. [2]. Длительное воздействие негативных факторов на стальные канаты приводит к появлению различных дефектов [3, 11] и, как следствие, к ухудшению потребительских характеристик канатов. Можно упомянуть наиболее типичные дефекты стальных канатов в процессе эксплуатации: обрыв каната, его износ и коррозия; расплетание прядей и проволоки в свивке; расплющивание и выдавливание прядей; уменьшение в поперечном сечении и т. д. (рис. 1) [4, 5].

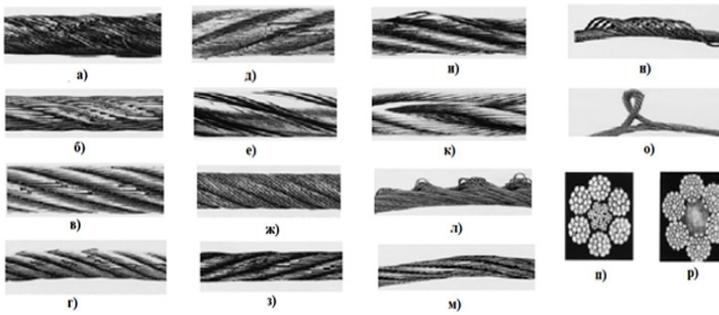


Рисунок 1 - Дефекты стальных канатов

а) механическое повреждение вследствие движения каната под нагрузкой по острому выступающему предмету; б) локализованный износ вследствие абразивного истирания на опорной конструкции; в) узкая полоса износа, приводящая к усталостным разрушениям, вызванным работой в слишком больших желобах или по слишком малым опорным роликам; г) две параллельные полосы оборванной проволоки, свидетельствующие об изгибе при движении по слишком узкому желобу шкива; д) сильный износ, связанный с высоким опорным давлением; е) сильный износ каната односторонней свивки, вызванный абразивным истиранием; ж) сильная коррозия; з) порыв проволоки в результате усталости при изгибе; и) порывы проволоки в точках сопряжения прядей или прядей с сердечником в отличие от порывов на гребнях проволоки; к) разрыв стального сердечника каната вследствие приложения высокого напряжения; л) вспученные проволоки вследствие неустойчивости к кручению или ударной нагрузки; м) типичный пример локализованного износа и деформации; н) вспучивание прядей многопрядного каната вследствие неустойчивости к кручению; о) выпучивание сердечника каната вследствие накопления кручения; п) внутренняя коррозия, в то время как наружная поверхность имеет мало признаков разрушения; р) значительный износ и сильная внутренняя коррозия.

На долговечность каната оказывают большое влияние перегибы каната на канатопроводящем шкиве и отводных блоках. Чем меньше перегибов делает канат на отводных блоках, тем дольше срок его службы [6, 9].

Преждевременный износ канатов и их повреждение могут возникнуть в результате неправильного выбора конструкции каната, типа и направления скручивания, неправильной намотки на барабан, неправильного выбора соотношения диаметров каната и бараба-

на или блока, профиля и размера ручья блока и канавок барабана, перегрузки, чрезмерных динамических воздействий на канат. Кроме того, на износ каната влияют следующие факторы [5, 10]:

- многослойное наматывание каната на барабан может привести к сильной деформации под нижележащими слоями каната;
- плохая намотка может привести к механическим повреждениям в виде сильного сдавливания и даже вызвать ударную нагрузку во время работы;
- шкивы слишком малого диаметра могут вызвать постоянную деформацию и преждевременный разрыв проволоки из-за усталости;
- большие желоба обеспечивают недостаточную опору для каната, что приводит к увеличению местного давления, уплотнению каната и преждевременным обрывам проволоки. Желоба считаются слишком большими, если его диаметр превышает номинальный диаметр каната на 15% для стали и на 20% для полиуретановой облицовки;
- узкие канавки в шкивах разрушают и деформируют канат, что проявляется в износе проволоки;
- большой угол отклонения может привести к сильному износу каната из-за соприкосновения соседних витков на барабане.

На характеристики каната с его правильным выбором и применением влияют два определенных фактора: коррозия и механический износ. В зависимости от условий эксплуатации тот или иной фактор является решающим для снятия каната с эксплуатации [4].

Продолжительность безопасной эксплуатации подъемного оборудования, подъемных устройств и других систем, в которых работают стальные канаты, во многом зависит от хорошо спланированной периодической проверки каната и оценки его пригодности для дальнейшего использования.

Осмотр и отбраковка канатов должны соответствовать требованиям, изложенным в инструкции по эксплуатации производителя оборудования [7].

Особое внимание уделяют тем участкам каната, которые, согласно опыту эксплуатации, наиболее подвержены разрушению. Чрезмерный износ, деформация и коррозия (рис. 2) являются наиболее распространенными визуальными признаками разрушения [4].

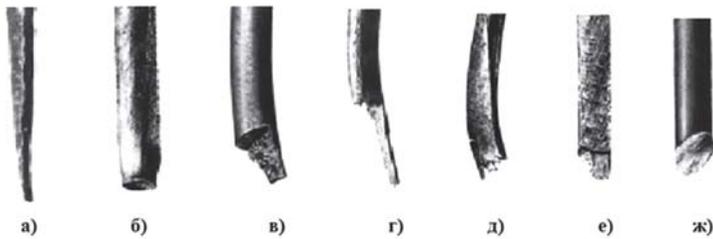


Рисунок 2 — Порывы проволоки

- а) порыв, вызванный сильным износом; б) порыв при растяжении; в) усталостный порыв; г) порыв, вызванный коррозионной усталостью; д) порыв, вызванный вязким износом; е) мартенситный порыв; ж) сдвиговой порыв

Любые стальные канаты, скрученные вместе, удлиняются при растягивающей нагрузке в три этапа в зависимости от величины приложенной нагрузки.

В начале загрузки нового каната создается удлинение в связи с прикатыванием витой проволоки с соответствующим уменьшением общего диаметра. Уменьшение диаметра вызывает чрезмерную длину проволоки и сопровождается расширением спиральной прокладки. Когда на соседних проволоках создаются достаточно большие опорные поверхности, чтобы выдерживать круговые сжимающие нагрузки, эти удлинения прекращаются, и начинается упругое удлинение. Начальное удлинение любого каната не может быть точно определено расчетами [5].

Выбор каната зависит от многих факторов, наиболее важными из которых являются тип и конструкция каната, диапазон нагрузки, количество и частота рабочих циклов [8].

После завершения начального удлинения канат относительно точно удлиняется по закону Гука до тех пор, пока не будет достигнут предел пропорциональности или предел упругости. Для установления справедливости закона Гука при растяжении необходимо, чтобы в процессе опыта между деформациями и соответствующими им усилиями существовала практически прямо пропорциональная зависимость [5].

Модуль упругости для разных канатных конструкций различен, но обычно он увеличивается с нарастанием площади поперечного сечения металла. Используя формулу (4), можно сделать относительную оценку упругого удлинения, но, если требуется большая точность, ре-

комендуется проверить модуль упругости на реальном образце каната.

Последний шаг — остаточное удлинение. Это постоянное неупругое удлинение стали, вызванное растягивающими нагрузками, превышающими предел текучести материала. Если нагрузка превышает предел пропорциональности, скорость удлинения будет увеличиваться по мере увеличения нагрузки, пока не будет достигнута нагрузка, при которой начинается постоянное удлинение, что вызывает разрушение каната без дальнейшего увеличения нагрузки [5].

Механические характеристики стальных канатов:

$$\begin{aligned} \text{модуль упругости } E &= 2,0 \div 2,1 * 10^6 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}; \\ \text{модуль сдвига } G &= 8.1 * 10^5 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}; \\ \text{коэффициент Пуассона } \mu &= 0,24 \div 0,28; \\ \text{момент инерции круга } J_x = J_y &\approx 0.05 * d^4; \\ \text{момент сопротивления круга } W_x = W_y &\approx 0.1 * d^3; \\ \text{радиус инерции круга } i_x = i_y &\approx \frac{d}{4}. \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{Удлинение каната вычисляют по формуле: } \Delta l = \frac{P * l}{E * F}; \quad (2)$$

где  $l$  — первоначальная длина проволоки (мм);  $P$  — растягивающая сила (кг);  $E$  — модуль упругости (кг/мм<sup>2</sup>);  $F$  — площадь поперечного сечения (мм<sup>2</sup>).

$$\text{Напряжение вычисляют по формуле: } \sigma = \frac{P}{F} \quad (3)$$

$$\text{Относительное удлинение вычисляют по формуле: } \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (4)$$

$$\text{Закон Гука вычисляют по формуле } \sigma = E * \varepsilon. \quad (5)$$

$$\text{Растягивающую силу вычисляют по формуле: } P = E * F * \frac{\Delta l}{l}. \quad (6)$$

Нами проведен сравнительный анализ упругого удлинения при теоретических расчетах (таблица 1) и экспериментальных измерениях (таблица 2).

Таблица 1 – Теоретический расчет упругого удлинения проволоки

Теоретический расчет упругого удлинения проволоки				
P, кг	F, мм <sup>2</sup>	E, кг/мм <sup>2</sup>	L, мм	$\Delta L * 10^{-3}$ , мм
10	0,5	2100000	170	1,619
20	0,5	2100000	170	3,238
30	0,5	2100000	170	4,857
40	0,5	2100000	170	6,476
50	0,5	2100000	170	8,095
60	0,5	2100000	170	9,714
70	0,5	2100000	170	11,333
80	0,5	2100000	170	12,952
90	0,5	2100000	170	14,571
100	0,5	2100000	170	16,19
150	0,5	2100000	170	24,286
200	0,5	2100000	170	32,381
250	0,5	2100000	170	40,476
300	0,5	2100000	170	48,571
350	0,5	2100000	170	56,667
400	0,5	2100000	170	64,762
450	0,5	2100000	170	72,857
500	0,5	2100000	170	80,952

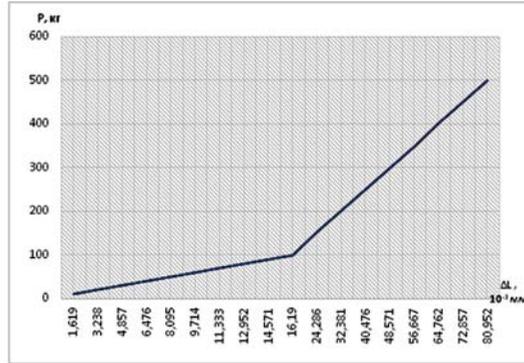


Рисунок 3 – График зависимости упругого удлинения от растягивающей силы при статистических данных

Экспериментальные измерения упругого удлинения проволоки для трех видов проволоки различных производителей с одинаковыми диаметрами приведены в таблице 2 и на рисунке 4.

Таблица 2 – Экспериментальное измерение упругого удлинения проволоки

Украина			
F, мм <sup>2</sup>	E, кг/мм <sup>2</sup>	L, мм	ΔL * 10 <sup>-3</sup> , мм
0,5	2100000	171	4,723
0,5	2100000	170	4,857
0,5	2100000	173	6,59
Россия			
0,5	2100000	170	3,562
0,5	2100000	170	5,181
0,5	2100000	172	5,897
Китай			
0,5	2100000	173	2,636
0,5	2100000	170	4,048
0,5	2100000	170	6,071

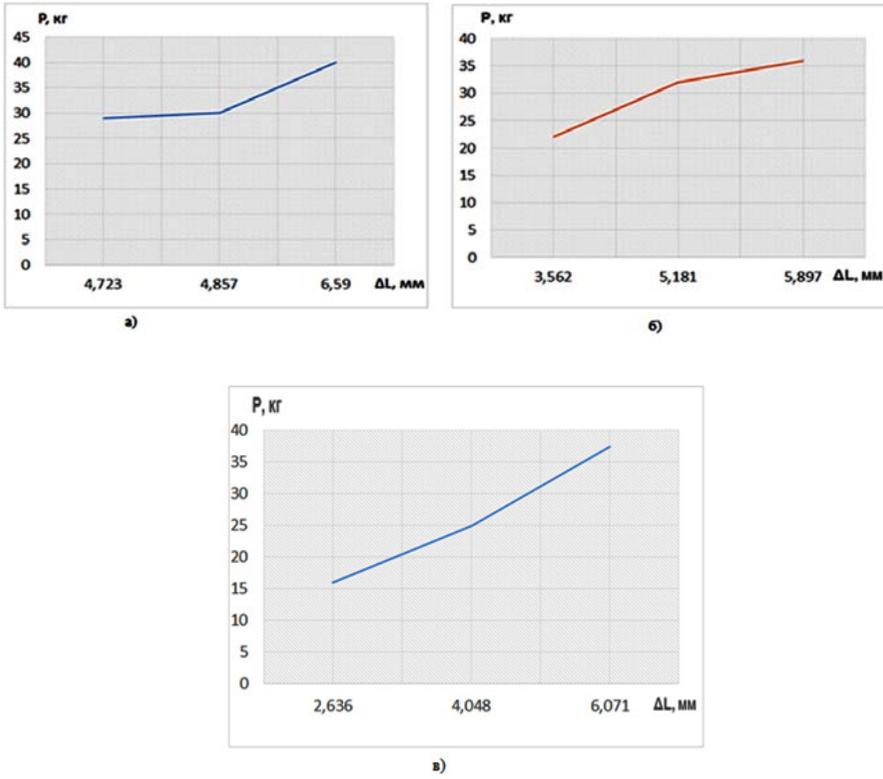


Рисунок 4 – График зависимостей упругих удлинений проволоки различных производителей от растягивающей силы:

а) украинский; б) российский; в) китайский

На основании выполненных расчетов и проведенных измерений следует вывод: канаты, выполненные из проволоки российского производства, имеют меньшее значение упругого удлинения, чем канаты украинского производства.

### Литература

1. Шамсутдинов М.М. Рудничные подъемные установки (безопасность эксплуатации)/учебник. — Бишкек: КРСУ, 2019.
2. Russell A. Carter Keeping Mine Hoists Healthy. Engineering & Mining Journal Октябрь 2015 [Электронный ресурс]  
<https://www.e-mj.com/features/keeping-mine-hoists-healthy/> (дата обращения 16.07.2020.)
3. Хоменко С.В. Роль дефектоскопии экскаваторных канатов и вантов для определения их остаточного ресурса и времени замены. Журнал "Горная промышленность", №2 (96). 2011 [Электронный

ресурс] <https://mining-media.ru/ru/article/prommat/999-rol-defektoskopii-ekskavatornykh-kanatov-i-vantov-dlya-opredeleniya-ikh-ostatochnogo-resursa-i-vremeni-zameny> (дата обращения 13.07.2020)

4. Талтыкин В.С. Основные виды износа и разрушения стальных канатов, применяемых в шахтных подъемных установках. Статья 2008. 2 выпуск. — С. 333— 337 [Электронный ресурс] [http://www.giab-online.ru/files/data/2008/2/45\\_taltikin21.pdf](http://www.giab-online.ru/files/data/2008/2/45_taltikin21.pdf) (дата обращения 13.07.2020)

5. Техническая информация Bridon [Электронный ресурс] <https://docplayer.ru/254286-Bridon-tehnicheskaya-informaciya.html> (дата обращения 6.07.2020)

6. Чутчиков П.И. Ремонт лифтов: учеб. пособие для сред. проф.-техн. училищ. – М.: Стройиздат, 1983. – 271 с.

7. Инструкция по эксплуатации стальных канатов в шахтных стволах РД 03-439-02

8. Чупраков В.Б. Поиск надёжных канатов для карьерных мехлопат: опыт ОАО «Ураласбест». Журнал "Горная промышленность", № 2 (96). — 2011. — С. 52 [Электронный ресурс] <https://mining-media.ru/ru/article/karertekh/155-poisk-nadjozhnykh-kanatov-dlya-karernykh-mekhlorat-oput-oao-uralasbest> (дата обращения 13.07.2020.)

9. Харитонов В. А., Таранин И. В. Направления повышения эффективности производства проволоки. Журнал «Черные металлы» №11, 2015г.

10. Трифанов Г. Д., Стрелков М. А., Зверев В. Ю. Способы минимизации динамических нагрузок в канатах шахтных подъемных установок. Журнал «Горный журнал», №8, 2015.

11. Сухоруков В. В., Воронцов А. Н., Волоховский В. Ю. Контроль износа канатов заливочных кранов металлургических предприятий. Журнал «Черные металлы», №10. 2013.