

УДК 621.86.065

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ
В ВИТКАХ КАНАТА ПРИ НАВИВКЕ НА БАРАБАН**

©Фидровская Н. Н., Ломакин А. А., Лесовицкий К. Ю.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Фідровська Наталія Миколаївна: ORCID: 0000-0002-5248-273X; mot@uipa.edu.ua; доктор технічних наук; професор кафедри машинобудування та транспорту ; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Ломакін Андрій Олександрович: ORCID 0000-0001-6729-3168; delgadokh@gmail.com; старший лаборант, асистент кафедри практичної психології; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Лесовицький Костянтин Юрійович: ORCID: 0000-0002-3358-6664; skif085@gmail.com; аспірант кафедри машинобудування та транспорту; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

В статтю проведено короткий аналіз наукових робіт, присвячених вопросу определения влияния упругих деформаций оболочки барабана на натяжение витков каната, а следовательно, на величину давления их на оболочку, а также вопросу проведения экспериментальных исследований по определению падения напряжения в витках каната.

Описана принципиальная схема экспериментальной установки. Описан план проведения эксперимента, кратко описаны использованные в эксперименте исследуемые образцы и измерительные приборы.

Приведены результаты эксперимента, по определению изменения напряжений в витках каната при навивке на барабан, проведенного в лабораторных условиях, также описана методика их обработки и интерпретации.

Построен усреднённый график напряжений в витках каната проведено его анализ, сделаны выводы о величинах падения напряжений в витках каната.

Ключевые слова: канат; барабан; напряжения; ZETLab; витки; тензодатчик; сигнал; экспериментальная установка.

Фідровська Н. М., Ломакін А. О., Лесовицький К. Ю. «Експериментальне дослідження зміни напружень у витках каната при навивці на барабан».

У статті проведено короткий аналіз наукових робіт, присвячених питанню визначення впливу пружних деформацій оболонки барабана на натяг витків каната, а отже, на величину тиску їх на оболонку, а також питання проведення експериментальних досліджень по визначенню падіння напруження в витках каната.

Описано принципову схему експериментальної установки. Описано план проведення експерименту, коротко описані використані в експерименті досліджувані зразки та вимірювальні прилади.

Наведено результати експерименту, по визначенню зміни напружень в витках каната при навивці на барабан, проведеного в лабораторних умовах, також описана методика їх обробки і інтерпретації.

Побудований усереднений графік напружень в витках каната проведений його аналіз, зроблено висновки про величини падіння напружень в витках каната.

Ключові слова: канат; барабан; напруження; ZETLab; витки; тензодатчик; сигнал; експериментальна установка.

Fidrovskaya, N., Lomakin A., Liesovytskyi K. “Experimental research of tension changes in a steel rope turns during winding on the drum”.

In the course of conducting a short analysis of the science of robots, the pittance of *viznachennya vprnachennya vplyvu pruzhnyh deformation of the drum oboron on the tension of the rope of the rope, and the annealing, on the size of the vice versus the obolon, and the feeding of the experimental animals on the viznachennu padinya napruzhennya in the turns of the rope.*

A schematic diagram of the experimental setup is described. A plan for carrying out the experiment is described, the test samples and measuring instruments used in the experiment are briefly described.

The results of the experiment on the determination of the change in the stresses in rope winding during drum impingement carried out under laboratory conditions are also described, the method of their processing and interpretation is also described.

The averaged graph of stresses in rope windings is constructed, its analysis is carried out, conclusions are drawn about the magnitude of voltage drop in rope windings.

Key words: steel rope; drum; tension; strain gauges; ZETLab; signal; experimental setup.

1. Введение

Тяговый канат относится к числу наиболее нагруженных и ответственных элементов грузоподъемных механизмов. Существующие методики проектирования предусматривают лишь расчет каната на растяжение при условии его статической нагрузки, но не учитывается действие напряжения изгиба. Для более точного выбора канатов необходимо точное определение нагрузок, воспринимаемых канатом при навивке на барабан, во время подъема груза.

2. Обзор публикаций и исследований

Вопросам определения влияния упругих деформаций оболочки барабана на натяжение витков каната, а следовательно, на величину давления их на оболочку посвящены теоретические исследования ряда авторов [1-6].

В настоящее время получило экспериментальное подтверждение только исследование, проведенное Б. А. Морозовым [5].

3. Основной материал

С целью определения напряжений в витках каната при навивке на барабан был разработана экспериментальная установка. В общем виде экспериментальная установка имеет вид (рис. 1).

Піднімально-транспортні машини

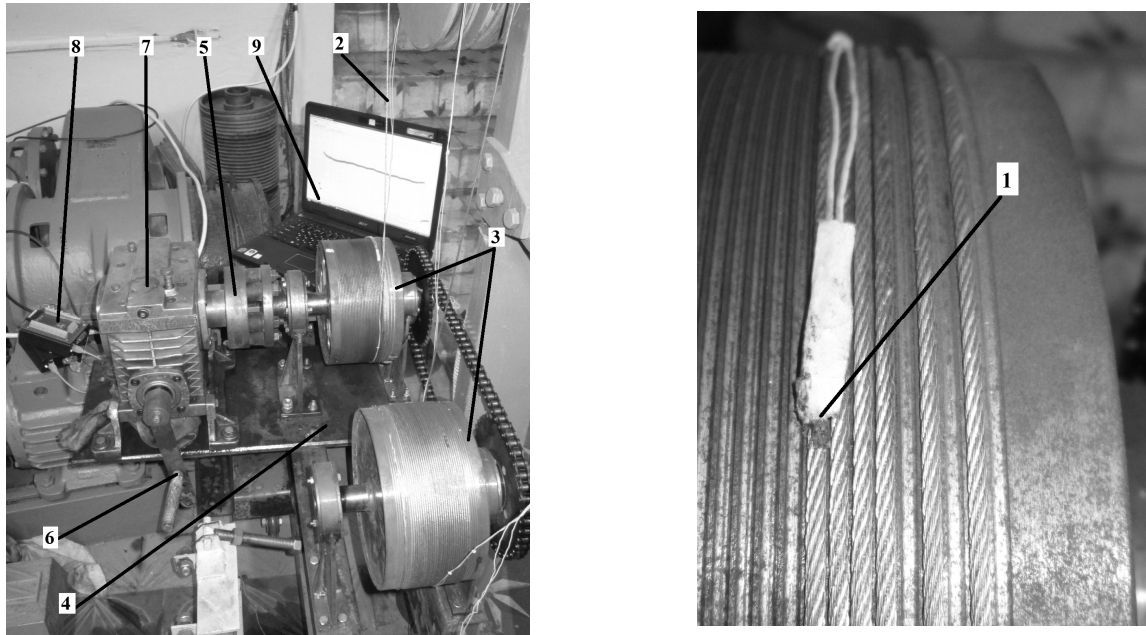


Рис. 1 – Общий вид экспериментальной установки с регистратором напряжений ZET 210:
 1 – измерительные тензорезистор, 2 – стальной канат диаметром 2 мм,
 3 – канатный барабан, 4 – опорная рама, 5 – муфта, 6 – приводная ручка,
 7 – редуктор, 8 – ZET 210 и ZET 240, 9 – базовое программное обеспечение ZETLab

Условная высота подъема составляла 14 м, кратность полиспаста, нагрузка 428,6 Н [7]. Канат навивается на барабан с помощью ручного привода. Канат навивается на цилиндрический барабан в 21 виток с углом отклонения $2,5^{\circ}$. Крепление каната осуществлялось тремя внешними прижимными планками с одним болтом. Исходя из регламентированных норм техники безопасности [8] были навиты полтора неприкасаемых витка каната.

На барабан рис. 2, который имеет следующие размеры: диаметр 215 мм, длина 160 мм, толщина стенки 2 мм навивался стальной канат диаметром 2 мм по DIN 3055, конструкции 6х7 FC-1770 к которому подвешен груз.

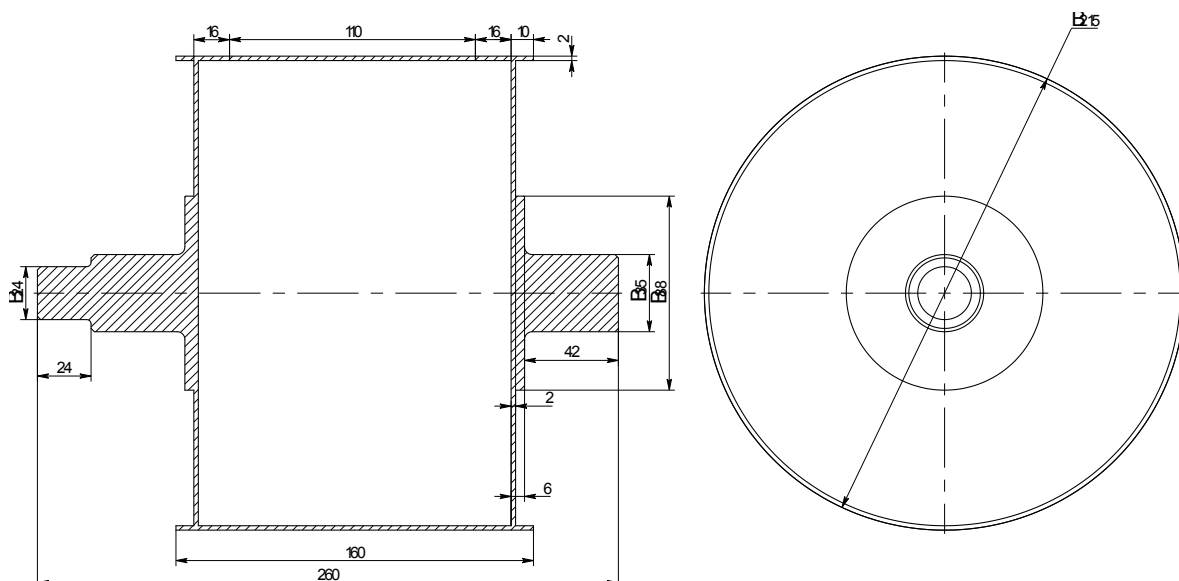


Рис. 2 – Канатный барабан

Піднімально-транспортні машини

С внешней стороны навиваемого каната наклеен датчик ZF200-1AA-W(11)-X [9], который измеряет деформацию с помощью устройства ZET 210 [10].

Регистрация показаний тензорезисторов снималось непрерывно. Процесс подъема и опускания груза был разбит на этапы:

1 – этап заключался в настройке показаний прибора и выявлении дефектов сигналов при отсутствии нагрузки. В течение 5 минут после пуска записи показаний выявлялись отклонения от начальной шкалы деления.

2 – этап включал корректировку настроек аппаратуры.

3 – этап включал подъем груза для формирования 21 витка навивки каната на барабане и регистрация во времени показания сигналов исследуемых точек.

4 – этап включал 50 секундную остановку подъема, для стабилизации нагрузок всего процесса подъема груза после навивки 21 витка каната.

5 – включал начало опускание груза и свивку 21 витка каната и полное разгрузку установки

6 – этап стабилизация процесса подъема-опускания груза после всех 5 этапов. Немало важным являлось возврат показаний всех сигналов в точку отчета принятую в 1 этапе. По этим показаниям можно было судить об остаточных напряжениях и погрешностях исследований.

Сценарий записи (каналы, частота дискретизации, режим записи и т.д.) задается с компьютера и программы регистратора [10].

Примененная схема подключения тензорезисторов представлена на рис.3. Подключен один активный тензорезистор, двухпроводная схема подключения. Применима при малых изменениях температуры. Без термокомпенсации. x_1 выход. Изгиб также влияет на измерения [10, 11].

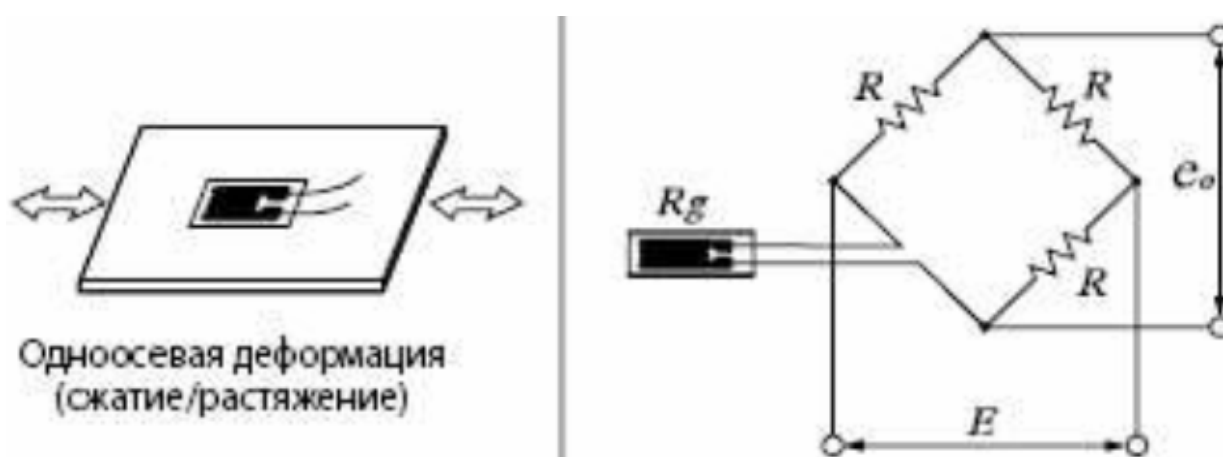


Рис. 3 – Схема подключения тензорезисторов

Полученные результаты представлены в виде графика рис. 4, построенного программным обеспечением комплекса ZETLab и в виде таблицы с показаниями измерительной аппаратуры в соответствующих точках (табл. 1).

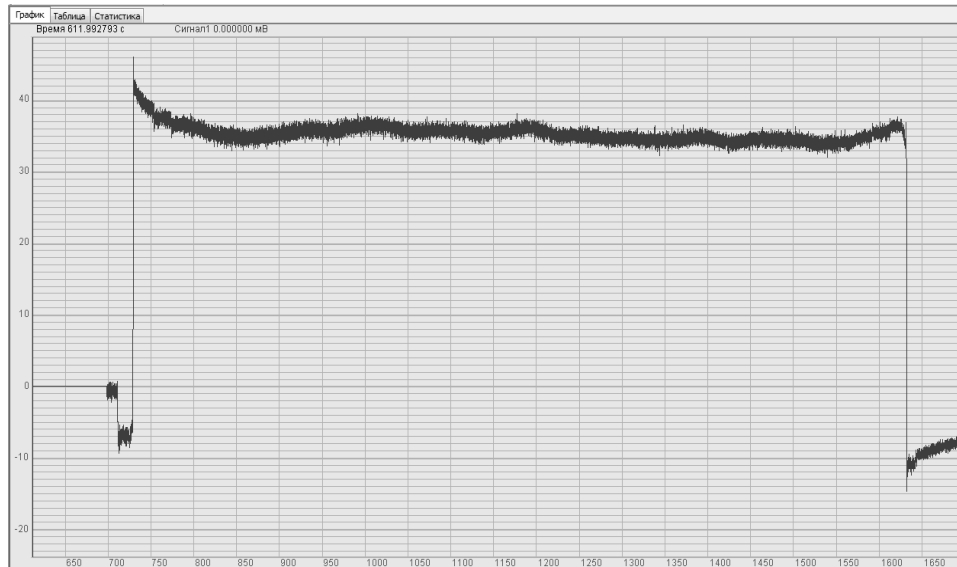
Піднімально-транспортні машини

Рис. 4 – Напряжения в навиваемом на барабан гибком стержне, полученные экспериментальным путем с использованием АЦП ZetLab 210

Таблица 1 - Напряженность навиваемого на барабан каната

Точка на графике	Выходное напряжение (мВ)					
	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5	Опыт 6
точка отсчета	-0,2	-2,1	0,59	-1,31	0,10	-0,10
точка перед началом контакта	-6,84	-8,35	-6,05	-7,56	-5,87	-6,05
точка контакта *	46,24	42,02	47,03	42,81	47,21	47,03
точка на витке №1	38,41	34,68	39,20	35,47	39,38	39,20
точка на витке №2	37,44	33,85	38,23	34,64	38,41	38,23
точка на витке №3	36,62	33,07	37,41	33,86	37,59	37,41
точка на витке №4	35,91	32,73	36,70	33,52	36,88	36,70
точка на витке №5	35,23	32,10	36,02	32,89	36,20	36,02
точка на витке №6	34,50	31,82	35,29	32,61	35,47	35,29
точка на витке №7	33,93	31,20	34,72	31,99	34,90	34,72
точка на витке №8	33,12	30,79	33,91	31,58	34,09	33,91
точка на витке №9	32,71	30,08	33,50	30,87	33,68	33,50
точка на витке №10	32,27	29,76	33,06	30,55	33,24	33,06
точка на витке №11	31,80	29,10	32,59	29,89	32,77	32,59
точка на витке №12	31,25	28,65	32,04	29,44	32,22	32,04
точка на витке №14	30,72	28,18	31,51	28,97	31,69	31,51
точка на витке №14	30,12	27,82	30,91	28,61	31,09	30,91
точка на витке №15	29,70	27,51	30,49	28,30	30,67	30,49
точка на витке №16	29,32	27,02	30,11	27,81	30,29	30,11
точка на витке №17	28,85	26,73	29,64	27,52	29,82	29,64
точка на витке №18	28,47	26,20	29,26	26,99	29,44	29,26
точка на витке №19	28,04	25,79	28,83	26,58	29,01	28,83
точка на витке №20	27,63	25,28	28,42	26,07	28,60	28,42
точка на витке №21	27,22	24,9	28,01	25,69	28,19	28,01

Для выбранной схемы подключения [4].

$$e_0 = (E/4) \cdot K_S \cdot \varepsilon_0 \quad (1)$$

из данной формулы выразим деформацию ε_0 для точки контакта

$$\varepsilon_0 = \frac{e_0}{(E/4) \cdot K_S} = \frac{46,24}{(1500/4) \cdot 2,13} = 57,89 \cdot 10^{-3} \text{ мм} \quad (2)$$

Піднімально-транспортні машини

где ε_0 – напряжение в испытуемом образце полученное экспериментальным путем [мВ],

E – питание моста $E = 1,5$ $B = 1500$ мВ

K_S – коэффициент тензо-чувствительности $K_S = 2,13$

Найдем абсолютную деформацию:

$$\varepsilon_a = \frac{dl}{l} = \frac{\varepsilon_0}{L_d} = \frac{57,89 \cdot 10^{-3}}{3,7} = 15,65 \cdot 10^{-3} \text{ мм} \quad (3)$$

здесь L_d – длина тела датчика $L_d = 3,7$ мм

тогда напряжение в точке контакта

$$\sigma = E \cdot \varepsilon_0 = 1,2 \cdot 10^5 \cdot 15,65 \cdot 10^{-3} = 187,753 \text{ Н/мм}^2 \quad (4)$$

где E – модуль Юнга (упругости) каната $E = 1,2 \cdot 10^5$ Н/мм²

Используя программу расчетов Mathcad [12], определим остальные деформации и напряжения (табл. 2).

Таблица 2 – Усреднённые результаты расчетов серии из 10 циклов

Точка на графике	деформ. мест. (мм) 10^{-3}	деформ. абсол. (мм) 10^{-3}	напряж. (Н/мм ²)
точка отсчета	-0,63	-0,17	-2,044
точка перед началом контакта	-8,50	-2,30	-27,557
точка контакта	56,83	15,36	184,301
точка на витке №1	47,23	12,76	153,172
точка на витке №2	46,07	12,45	149,423
точка на витке №3	45,06	12,18	146,147
точка на витке №4	44,33	11,98	143,765
точка на витке №5	43,50	11,76	141,072
точка на витке №6	42,77	11,56	138,717
точка на витке №7	42,04	11,36	136,335
точка на витке №8	41,19	11,13	133,587
точка на витке №9	40,55	10,96	131,516
точка на витке №10	40,05	10,82	129,892
точка на витке №11	39,38	10,64	127,727
точка на витке №12	38,74	10,47	125,629
точка на витке №13	38,10	10,30	123,558
точка на витке №14	37,45	10,12	121,447
точка на витке №15	36,97	9,99	119,890
точка на витке №16	36,44	9,85	118,198
точка на витке №17	35,93	9,71	116,533
точка на витке №18	35,39	9,57	114,787
точка на витке №19	34,86	9,42	113,069
точка на витке №20	34,31	9,27	111,268
точка на витке №21	33,81	9,14	109,644

Піднімально-транспортні машини

По полученным результатам строим графики напряжений в витках каната (рис. 5).

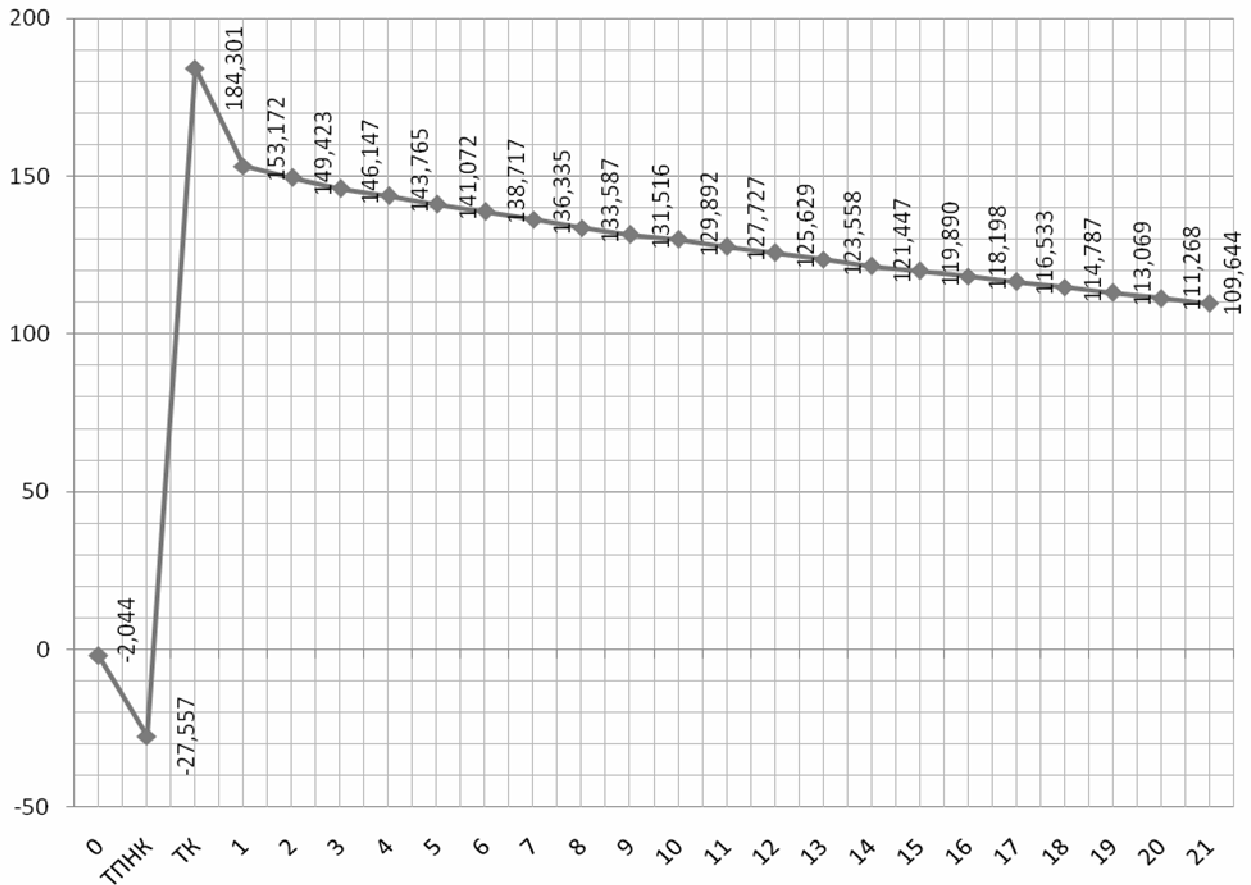


Рис. 5 – Усреднённый график напряжений в витках каната

Выводы

Проанализировав полученные графики (рис. 5) видно, что максимальное напряжение каната при навивке на барабан приходится на точку контакта, а минимальное в точке предшествующей точке контакта. На протяжении формирования двадцати одного витка каната происходит линейное падение напряжения в витках. Падение напряжения между точкой контакта и первым витком составляет в среднем 16,9%, между первым витком и двадцать первым витком составляет в среднем 28,4%, между точкой контакта и двадцать первым витком составляет в среднем 40,5%.

Список использованных источников

1. Давыдов Б. Б. Расчет и конструирование шахтных подъемных машин / Б. Б. Давыдов. – М. : Углетехиздат, 1949. – 298 с.
2. Ковальский Б. С. Нагрузка барабана подъемной машины витками каната / Б. С. Ковальский // Доклады АН СССР. – 1950. – Том 75. – № 6. – С. 779-782.
3. Волькович И. Б. Распределение давлений на стенки бесконечного барабана при навивке каната. / И. Б. Волькович // Научные труды Харьковского горного института / ХГУ им. Горького. – 1952. – Т. 1.
4. Фідровська Н. М. Вплив геометричних і жорсткісних параметрів каната і барабана на навантаження обичайки / Н. М. Фідровська // *Машинобудування* : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Харків, 2013. – № 12. – С. 44-48.
5. Морозов Б. А. Исследование прочности барабанов грузоподъемных машин / Б. А. Морозов // ЦНИИТМАШ, кн. 27. М.: Машгиз, 1949. – С. 14-15.
6. Ломакин А. А. Изменение напряжений в витках каната при навивке на барабан / А. А. Ломакин // *Машинобудування* : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Харків, 2014. – № 13. – С. 24-29.

Піднімально-транспортні машини

7. Александров М. П. Подъемно-транспортные машины: учеб. для машиностроит. спец. вузов / М. П. Александров. – 6-е изд., перераб. – М. : Высшая школа, 1985. – 520 с.
8. НПАОП 0.00-1.01-07 Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. – Харьков : Форт, 2007. – 256 с.
9. Каталог тензорезисторов и датчиков «Strain gages catalogue» [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: <https://www.zemiceurope.com/media/Documentation/Straingagescatalogue.pdf>.
10. Программное обеспечение ZETLab. Руководство оператора [Электронный ресурс]. – 2-е изд., доп. – 2016. – Ч. 1: ЗТМС.00068-01 34. – Режим доступа : https://file.zetlab.com/Document/03_АЦП/01_ZET210/PO_ZET2XX_base.pdf.
11. Немец И. Практическое применение тензорезисторов : пер. с чешск. / И. Немец. – М. : Энергия, 1970. – 144 с.
12. Гурский Д. А. Вычисления в Mathcad 12 / Д. А. Гурский, Е. С. Турбина. – СПб. : Питер, 2006. – 544 с.

References

1. Davydov, B 1949, *Raschet i konstruirovaniye shakhtnykh podyemnykh mashin*, Ugletekhizdat, Moskva.
2. Kovalskiy, B 1950, 'Nagruzka barabana podyemnoy mashiny vitkami kanata', *Doklady AN SSSR*, vol 75, no. 6, pp. 779-782.
3. Volkovich, I 1952, 'Raspredeleniye davleniy na stenki beskonechnogo barabana pri navivke kanata', *Nauchnyye trudy Kharkovskogo gornogo instituta*, vol. 1.
4. Fidrovskaya, N 2013, 'Vplyv heometrychnykh i zhorstkisnykh parametriv kanata i barabana na navantazhennia obychaiky', *Mashynobuduvannia*, iss. 12, pp. 44-48.
5. Morozov, B 1949, 'Issledovaniye prochnosti barabanov gruzopodyemnykh mashin', *TsNIITMASH*, b. 27, pp. 14-15.
6. Lomakin, A 2014, 'Izmeneniye napryazheniy v vitkakh kanata pri navivke na baraban', *Mashynobuduvannia*, iss. 13, pp. 24-29.
7. Aleksandrov, M 1985, *Podyemno-transportnyye mashiny*, 6th edn, Vysshaya shkola, Moskva.
8. НПАОП 0.00-1.01-07 *Pravila ustroystva i bezopasnoy ekspluatatsii gruzopodyemnykh kranov*, Fort, Kharkov.
9. *Katalog tenzorezistorov i datchikov "Strain gages catalogue"* 2015, viewed 2018, <<https://www.zemiceurope.com/media/Documentation/Straingagescatalogue.pdf>>.
10. *Programmnoye obespecheniye ZETLab. Rukovodstvo operatora* 2016, 2nd edn, p. 1: ZTMS.00068-01 34, viewed 2018, <https://file.zetlab.com/Document/03_ATsP/01_ZET210/RO_ZET2XX_base.pdf>.
11. Nemets, I 1970, *Prakticheskoye primeneniye tenzorezistorov*, Energiya, Moskva.
12. Gurskiy, D & Turbina, E 2006, *Vychisleniya v Mathcad 12*, Piter, SPb.

Стаття надійшла до редакції 4 травня 2018 р.