

DOI 10.32820/2079-1747-2019-24-52-58
УДК 621.874 УДК 629.413 - 592.112

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ КАНАТУ

©Фідровська Н.М.¹, Писарцов О.С.², Ломакін А.О.³

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*¹

*Науково-виробниче підприємство ХАРТРОН-АРКОС*²

*Українська інженерно-педагогічна академія*³

Інформація про авторів:

Фідровська Наталія Миколаївна: ORCID: 0000-0002-5248-273X; nfidrovskaya@ukr.net; доктор технічних наук, професор кафедри будівельних і дорожніх машин; Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого 25, м. Харків, 61002, Україна

Писарцов Олександр Сергійович: ORCID: 0000-0003-4661-5441; alex.pisartsov@gmail.com; кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Науково-виробниче підприємство ХАРТРОН-АРКОС, вул. Академіка Проскури 1, м. Харків, 61070, Україна

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

Сучасний рівень розвитку техніки потребує все нові вимоги до надійності і довговічності підйомних канатів. При виборі конструкції канатів потрібно виходити із тих умов, в яких вони будуть експлуатуватися і проводити розрахунки саме виходячи з цих умов. Метод розрахунку канатів, який застосовується стандартом на теперішній час, не відображає дійсних умов роботи канату і не забезпечує його потрібної довговічності. В тих розрахунках, які наводяться в навчальній і довідковій літературі, недооцінюється вплив геометричних і пружних параметрів канатних блоків на довговічність канату. Канат вибирається тільки з умов на розтягнення, в той час, як експериментально доведено, що розрив дротинок в більшості випадків виникає саме при проходженні канатом блоку.

Розглядаючи сили, які виникають при набіганні канату на шків, визначена залежність сили натягу дроту канату на перехідній ділянці в залежності від радіусу пасма, радіусу шківа і кута звивки дротинок. При набіганні канату на шків подовження проволоки на випуклій стороні канату в залежності від сил тертя буде розподілятися в сторону стиску на вогнутій стороні канату. Це подовження змінює осьове зусилля в проволоці.

Для забезпеченні відсутності зношування канату і блоку, в точці сходу канату з блоку, була отримана математична залежність для максимально допустимого кута відхилення канату, який сходе з блоку. З умови прилягання канату до борту блоку і запобігання перелому канату по краю борту рівчака був визначений максимально допустимий кут повороту канату в місці відриву його від поверхні блоку.

Кут розкриття рівчака блоку визначається із умови зменшення кручення канату при його девіації і його величина має дуже значний вплив на довговічність канату. В роботі було проаналізовано вплив кута розкриття рівчака блоку на допустимий кут відхилення канату, який збігає з блоку.

Внаслідок жорсткості канату і того, що його кривизна в зоні набігання на блок змінюється не миттєво, а з деякою кінцевою швидкістю, при набіганні канату на блок, прилягання канату не проходить по всій довжині ручія. Приймавши закон змінення навантаження зігнутого канату з урахуванням сили тертя між блоком і канатом було отримано формулу для визначення кута, на якому канат відходить від блоку. Це дозволяє отримати більш реальну картину навантаження канату, який зігнутий на блоці.

Ключові слова: кран; механізм підйому; канат; канатний блок; контактні напруження; кут відхилення канату; довговічність каната.

Фидровская Н.Н., Писарцов А.С., Ломакин А.А. «Усовершенствование методики определения долговечности канатов»

Современный уровень развития техники требует все новые требования к надежности и долговечности подъемных канатов. При выборе конструкции канатов нужно исходить из тех условий, в которых они будут эксплуатироваться, и проводить расчеты именно исходя из этих условий. Метод расчета канатов, который применяется стандартом в настоящее время, не отражает действительных условий работы каната и не обеспечивает его необходимую долговечность. В тех расчетах, которые приводятся в учебной и справочной литературе, недооценивается влияние геометрических и упругих параметров канатных блоков на долговечность каната. Канат выбирается только из условий на растяжение, в то время, как экспериментально доказано, что разрыв проволок в большинстве случаев возникает именно при прохождении канатом блока.

Рассматривая силы, возникающие при набегании каната на шкив, определена зависимость силы натяжения проволоки каната на переходном участке в зависимости от радиуса пряди, радиуса шкива и угла свивки проволок. При набегании каната на шкив удлинение проволоки на выпуклой стороне каната в зависимости от сил трения будет распределяться в сторону сжатия на вогнутой стороне каната. Это удлинение меняет осевое усилие в проволоке.

Для обеспечения отсутствия износа каната и блока, в точке схода каната с блока, была получена математическая зависимость для максимально допустимого угла отклонения каната, который сходит с блока. Из условия прилегания каната к борту блока и предотвращения перелома каната по краю борта ручья был определен максимально допустимый угол поворота каната в месте отрыва его от поверхности блока.

Угол раскрытия ручья блока определяется из условия уменьшения кручения каната при его девиации и его величина имеет весьма значительное влияние на долговечность каната. В работе было проанализировано влияние угла раскрытия ручья блока на допустимый угол отклонения каната, который сбегает с блока.

Вследствие жесткости каната и того, что его кривизна в зоне набегания на блок меняется не мгновенно, а с некоторой конечной скоростью, при набегании каната на блок, прилегание каната не проходит по всей длине ручья. Приняв закон изменения нагрузки согнутого каната с учетом силы трения между блоком и канатом, было получено формулу для определения угла, на котором канат отходит от блока. Это позволяет получить более реальную картину нагрузки каната, изогнутого на блоке.

Ключевые слова: кран; механизм подъема; канат; канатный блок; контактные напряжения; угол отклонения каната; долговечность каната.

Fidrovska N., Pysartsov O., Lomakin A. «Improving the methodology for determining the durability of steel wire ropes»

Current technologies require more and more new standards for the reliability and durability of hoisting ropes. When choosing the design of the steel wire rope it is necessary to consider the conditions in which they will be operated and make calculations based on these conditions. The current standard-based method of calculating the steel wire ropes does not reflect actual steel wire rope operating conditions and does not ensure the required durability. The calculations provided in the course books and reference guides underestimate the impact of the geometric and elastic parameters of the rope sheaves on the durability of the steel wire rope. The rope is selected only based on the conditions on extension, while it has been experimentally proved that the wire breakage occurs precisely in most cases when the rope passes through the sheave.

Considering the forces that arise when a steel wire rope is rolled on a pulley, the dependence of the tension of the rope wire on the transition point is determined, depending on the radius of the pulley, and the angle of the wire twist. When the rope runs on a pulley, the elongation of the wire

on the convex side of the rope, depending on the friction forces, will be distributed to the compression, side on the concave side of the rope. This elongation changes the axial force in the wire.

To ensure the absence of wear of the rope and the sheave, at the point of the rope coming off the sheave, a mathematical relationship has been obtained for the maximum allowable deflection angle of a rope coming off the sheave. The maximum allowable rotation angle of the rope at the point of its detachment from the surface of the sheave has been determined based on the contact of the rope with the sheave rim and prevention of the rope fracture along the edge of the groove rim.

The expansion angle of the sheave groove is determined considering the reduction the torsion of the rope when it is deviated, and its amount has a very significant effect on the durability of the steel wire rope. The thesis contains the analysis of the influence of the expansion angle of the sheave groove on the allowable deflection angle of the rope coming off the sheave.

Due to the inflexibility of the steel wire rope and the fact that its curvature in the zone of winding on the sheave does not change instantly, but with a certain terminal speed, when the rope winds on the sheave, the contact of the rope does not occur along the entire length of the groove. By applying the law of changing the load of a bent rope, taking into account the frictional force between the sheave and the rope, a formula has been obtained to determine the angle at which the steel wire rope comes off the sheave. This provides a more truthful overview of the load of the rope when bent on the sheave.

Keywords: crane, hoisting mechanism, steel wire rope, rope sheave, contact stresses, deflection angle of a steel wire rope, durability of steel wire rope.

Вступ

Метод розрахунку канатів, який застосовується стандартом на теперішній час не відображає дійсних умов роботи канату і не забезпечує його потрібної довговічності. В тих розрахунках, які наводяться в навчальній і довідковій літературі, недооцінюється вплив геометричних і пружних параметрів блоків на довговічність канатів. Канат вибирається тільки з умов на розтягнення, в той час, як експериментально доведено, що розрив дротинок в більшості випадків виникає саме при проходженні канатом блоку.

Експериментальні дослідження, які проводилися Б.С. Ковальським [1], Д.Г. Житковим [2], К.М. Масленіковим [3], А.І. Колчиним [4], І.Ф. Нікітіним [5] та іншими показали, що довговічність канату залежить від його конструкції, режимів експлуатації і не може визначатися тільки статичною міцністю.

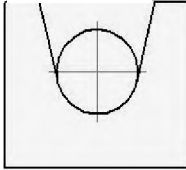
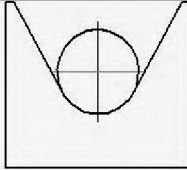
Вважалось, що основною причиною руйнування канату є втома матеріалу. Кожний дріт канату витримує визначену кількість перегинів, тому експериментально необхідно визначати залежність між строком служби канату і різними факторами, які обумовлюють його знос.

1. Аналіз основних досліджень і публікацій

Питаннями комплексних досліджень витривалості сталевих канатів займалися такі вчені як Б.С. Ковальський [1], К.М. Масленіков [3], В. Вернле [6], Н.Є. Маркман [7], Д.Г. Житков [3], В.А. Маліновський [8, 9] та інші.

Були проведені дослідження, які направлені на створення основ будівельної механіки сталевих канатів, яка базується на загальних принципах механіки деформованого тіла і враховує специфіку канату як складного агрегату. М.Ф. Глушко [10] створив основи теорії розрахунку, які дозволяють достатньо точно оцінити величину напружень, які виникають в сталевих підйомних канатах. В роботі [11] досліджувалося кручення канату, яке викликане його девіацією і показано, що воно залежить від кута розкриття рівчака. І чим більше кут девіації тим більше кручення канату (табл. 1).

Таблиця 1 – Залежність кручення канату від кута девіації про роботі на блоках з різними кутами розкриття канавки.

Вплив кута девіації та кута розкриття ручія блоку на крутіння сталевго канату діаметром 20,0 мм								
			30 градусів		60 градусів			
Кут девіації, град	1	1,5	2	2,5	3	4	5	
Залежність крутіння канату від кута девіації при куті розкриття ручія 30 градусів								
Крутіння від девіації, град/м	172	286	401	516	573	802	976	
Залежність крутіння канату від кута девіації при куті розкриття ручія 60 градусів								
Крутіння від девіації, град/м	115	172	229	286	344	401	516	

Кут розкриття рiвчачка блоку визначається iз умови зменшення кручення канату при його девіації. В таблиці 1 наведені залежності кручення канату від кута девіації при роботі на шківках з різними кутами розкриття рiвчачка блоку.

2. Постановка проблеми

Досвід експлуатації показує, що кут розкриття шківка, який рекомендований в нормалях, не відповідає умовам роботи талевих канатів. Бокові поверхні рiвчачків шківів, які виконані по цим нормам мають iнтенсивний знос в наслідок недостатнього кута розкриття. Тому шківки талевих блоків i крон блоків повинні мати кут розкриття стiнок канавки 50° проти 40-45° по ОСТ 24-191-01.

Проведені тести i практика показали, що величина повороту канату навкруги своєї осі залежить від кута розкриття рiвчачка. Чим більший кут, тим менше буде скручуватися канат. Але багато фірм виготовляють шківки з кутами -30°, 35° та 45°, враховуючи при цьому вимоги різних стандартів.

3. Мета проблеми.

Метою наукового дослідження являється удосконалення методики визначення довговічності канату шляхом урахування нових факторів, які суттєво впливають на роботу канату.

4. Викладення основного матеріалу

Б.С. Ковальський [1] запропонував новий метод розрахунку кранових підйомних канатів на довговічність, який враховує вплив кратності поліспасти i розміри барабану на механізм підйому. Одним з основних параметрів зносу є радіальний тиск канату на блок, який пропорційний натягненню канату T . Радіальний тиск визначає напружений стан дроту в місцях контакту одне з одним i жолобом органу навивки.

Залежність (1.10) можна записати у розгорнутому вигляді

$$D = ABC \left(d + abc \frac{T}{d} \right) \quad (1)$$

де α – коефіцієнт, який залежить від матеріалу блоку (сталь – 1,1; чавун – 1,0; дюралюміній – 0,8; капрон – 0,6);

b – коефіцієнт, який відображає вплив радіусу закруглення ручія r i залежить від натягнення канату i напрямку звивання. При запасі міцності $m = 5 \div 6$ значення наведені в табл.2.

Таблиця 2 – Значення коефіцієнта b

r/d	звивання	
	хрестове	одностороннє
0,53	1	1
0,56	1,04	1,02
0,60	1,10	1,05
∞	1,30	1,20

c – коефіцієнт, який враховує металеве заповнення перерізу канату. Для шестипасмових канатів типу ТК $c = 0,21$, ЛК $c = 0,20$, для восьми пасових $c = 0,23$.

A – коефіцієнт, який встановлює зв'язок величини D/d з кількістю циклів N .

На основі досліджень на пробіжних машинах може бути встановлена така залежність

$$A = \frac{C'}{1 + \frac{C''}{N}}, \quad (2)$$

На основі експериментів Скобла [12], Вернле [6] та інших $C' = 14,5$, $C'' = 56000$.

У межах $N = 30000 \div 300000$ $A = 0,2\sqrt[3]{N}$;

B – коефіцієнт, який враховує вплив конструкції канату. При межі міцності дроту $\sigma = 1600 \div 1800$ МПа його значення наведено в табл.3.

Таблиця 3 – Значення коефіцієнта B

Конструкція	Звивання	
	хрестове	одностороннє
6x19+ОС ТК	1,15	0,95
6x19+ОС ЛК-Р	1,00	0,90
6x37+ОС ТК	1,20	1,10
6x37+ОС ТЛК-О	1,06	0,95

C – коефіцієнт, який враховує вплив розміру дроту на межу витривалості при пульсуючих контактних напруженнях, його значення наведено в табл.4.

Таблиця 4 – Значення коефіцієнта C

Конструкція канату	d				
	6x37+о.с.	0,96	1	1,04	1,06
6x19+о.с.	0,94	1	1,06	1,10	1,13

D – діаметр блоку;

d – діаметр канату.

Як було вказано вище, кут розкриття ривчака канатного блоку дуже сильно впливає на довговічність роботи канату, але його не було враховано у формулі Б.С. Ковальського. Нами були проведені експериментальні дослідження, на основі яких була виведена формула для визначення впливу кута розкриття ривчака блоку на довговічність канату

$$h = 0,2(0,2\beta - 1) \quad (3)$$

Графік залежності коефіцієнту h від кута розкриття ривчака блоку наведена на рис. 1.

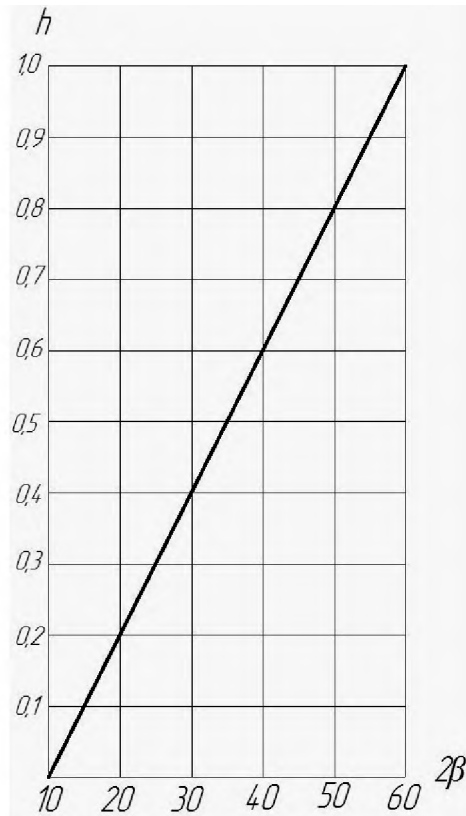


Рис. 1 – Залежність коефіцієнта h від кута β

Тоді формула (1) приймає вигляд

$$D = \frac{ABC}{h} \left(d + abc \frac{T}{d} \right) \quad (4)$$

Висновки.

Аналіз отриманих рішень показав, що крім основних факторів, які включені в методику розрахунку канатів по строку служби Б.С.Ковальським, є ще ряд інших показників, які мають значний вплив і врахування яких допоможе значно підвищити довговічність кранових канатів.

Список использованных источников:

1. Ковальский Б. С. Грузоподъемные машины. Канаты, блоки, барабаны / Б. С. Ковальский. – Харьков : Харьковское высшее командно-инженерное училище, 1991. – 88 с.
2. Житков Д. Г. Стальные канаты для подъемно-транспортных машин / Д. Г. Житков, И. Т. Поспехов. – М. : Металлургиздат, 1993. – 391 с
3. Масленников К. М. Результаты исследования и расчет канатов на прочность и долговечность / К. М. Масленников // Труды ВНИИПТМАШ : Исследование узлов и деталей ПТМ. – М. : 1962. – Вып.7 (29). – С. 45-49.
4. Колчин А. И. Стальные канаты / А. И. Колчин. – М. : Машгиз, 1950. – 102 с.
5. Никитин И. Ф. Изменение усилий в проволоках каната при пробегании его по блоку / И. Ф. Никитин // Вопросы рудничного транспорта : сб. статей. – М. : Недра, 1965. – Вып. 8. – С. 74-79.
6. Woernle R. Drahtseilforschung, Zeit schrift des Vereins deutscher Ingenieure / R. Woernle // Zeitschrift V.D.I. – 1934. – №52. – С. 1492-1498.
7. Опыт эксплуатации канатов с пружинными сердечниками на открытых горных работах / Н. Е. Маркман, А. И. Бурдов, В. Р. Шунин [и др.] // Стальные канаты : сб. – Киев : Техника, 1965. – Вып. 2. – С. 323-324.
8. Малиновский В. А. Стальные канаты. Ч. 1 : Некоторые вопросы технологии, расчета и проектирования / В. А. Малиновский. – Одесса : Астропринт, 2001. – 188 с.
9. Малиновский В. А. Стальные канаты. Ч. 2 : Основы теории изгиба и взаимодействия с опорной поверхностью / В. А. Малиновский. – Одесса : Астропринт, 2002. – 180 с
10. Глушко М. Ф. Стальные подъемные канаты / М. Ф. Глушко. – Одесса : Астропринт, 2013. – 327 с.

11. Свиридов А. А. Влияние геометрии ручья шкива на работу стальных канатов / А. А. Свиридов // *Подъемные сооружения. Специальная техника.* – 2018. – Вып. № 8 (191). – С. 19-21.
12. Scobl W. Wire Rope Rescheich Cantee / W. Scobl // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineering*, 2005.

References

1. Kovalskij, BS 1991, *Gruzopodjomnye mashiny. Kanaty, bloki, barabany*, Harkovskoe vysshee komandno-inzhenernoe uchilishhe, Harkov.
2. Zhitkov, D & Pospheov, I 1993, *Stalnye kanaty dlja podemno-transportnyh mashin*, Metallurgizdat, Moskva.
3. Maslennikov, KM 1962, 'Rezultaty issledovaniya i raschet kanatov na prochnost i dolgovechnost', *Trudy VNIPTMASH : Issledovanie uzlov i detalej PTM*, iss. 7(29), pp. 45-49.
4. Kolchin, AI 1950, *Stalnye kanaty*, Mashgiz, Moskva.
5. Nikitin, IF 1965 'Izmenenie usilij v provolokah kanata pri probeganii ego po bloku', *Voprosy rudnichnogo transporta*, Moskva, iss. 8, pp. 74-79.
6. Wernle, W 1934, 'Drahtseilforschung Zeitschrift des Vereine Deutscher Ingenieurs', *Zeitschrift V.D.I.*, vol. 78, no. 52, pp. 1492-1498.
7. Markman, NE, Burdov, AI, Shunin, VR & Revzina, FS 1965, 'Opyt jekspluatacii kanatov s pruzhinnyimi serdechnikami na otkrytyh gornyh rabotah', *Stalnye kanaty, Tehnika*, Kiev, iss. 2, pp. 323-324.
8. Malinovskiy, V 2001, *Stalnyye kanaty. Part I. Nekotoryye voprosy tekhnologii, rascheta i proyektirovaniya*, Astroprint, Odessa.
9. Malinovskiy, V 2002, *Stalnye kanaty. Part 2. Osnovy teorii izgiba i vzaimodeystviya s opornoj poverkhnostyu*, Astroprint, Odessa.
10. Glushko, MF 2013, *Stalnye podemnye kanaty*, Astroprint, Odessa.
11. Sviridov, AA 2018, 'Vlijanie geometrii ruchja shkiva na rabotu stalnyh kanatov', *Podemnye sooruzhenija. Specialnaja tehnika*, iss. 8 (191), pp. 19-21.
12. Scobl, W 2005, 'Wire Rope Rescheich Cantee', *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineering*.

Стаття надійшла до редакції 10 жовтня 2019 р.