

УДК (UDK) 621.863.21

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КАБЕСТАНОВОГО БАРАБАНА В СКВОЗНОЙ ЛЕБЁДКЕ С ГИБКИМ КАНАТОМ

EXPERIMENTAL STUDY OF THE USE OF A CABESTAN DRUM IN A THROUGH WINCH WITH A FLEXIBLE ROPE

Иванов В.А.¹, Гнездилов С.Г.^{1,2}, Садовой К.А.¹, Балков В.В.³
Ivanov V.A.¹, Gnezdilov S.G.^{1,2}, Sadovoy K.A.¹, Balkov V.V.³¹ – Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана (Москва, Россия)² – Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (Москва, Россия)³ – ООО «Электролифт» (Москва, Россия)¹ – Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russian Federation)² – National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (Moscow, Russian Federation)³ – LLC «Electrolift» (Moscow, Russian Federation)

Аннотация. В статье рассматривается возможность применения кабестанового барабана в качестве канатоведущего органа сквозной лебёдки, использующей полиамидный канат для вертикального перемещения грузов. Приведены примеры существующих типов мобильных и сквозных лебёдок, выделены их достоинства и недостатки. Рассмотрена методика получения зависимости тягового коэффициента канатоведущего шкива от натяжения каната и профиля ручья. Сформулированы цели и задачи исследования. В рамках работы разработаны экспериментальные стенды и проведены серии опытов, направленных на изучение влияния количества и расположения витков каната и направления вращения барабана на величину его коэффициента трения, тягового коэффициента и работоспособность системы. Дополнительно оценено влияние расположения и исправности бокового упора на равномерность намотки каната и предельные тяговые характеристики лебёдки. Изучено поведение системы в режимах подъёма и спуска, выявлена перемотка витков каната при вращении барабана на спуск. Установлено, что кабестановый барабан может применяться в качестве канатоведущего органа сквозной лебёдки для подъёма грузов, однако для безопасного спуска необходимы альтернативные способы без задействования привода лебёдки, за счет собственной массы системы.

Ключевые слова: кабестановый барабан, тяговый коэффициент, сквозная лебёдка.

Дата получения статьи: 13.10.2025
Дата принятия к публикации: 25.01.2026
Дата публикации: 25.03.2026

Сведения об авторах:

Иванов Владислав Александрович – студент Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана,
e-mail: vlad.pocht2016@gmail.com.

Abstract. The article examines the possibility of using a cabestan drum as the rope-driving element of a through winch employing a polyamide rope for vertical load lifting. Examples of existing types of mobile and through winches are provided, and their advantages and disadvantages are highlighted. The methodology for obtaining the dependence of the traction coefficient of a rope-driving sheave on rope tension and groove profile is considered. The goals and objectives of the study are formulated. Experimental test rigs were developed, and a series of tests was performed to investigate the influence of the number and arrangement of rope turns and the direction of drum rotation on the friction coefficient, traction coefficient, and overall performance of the system. Additionally, the influence of the position and proper functioning of the side stop on the uniformity of rope winding and the limiting traction characteristics of the winch was assessed. The behavior of the system in lifting and lowering modes was examined, and the occurrence of rope rewinding during drum rotation in the lowering direction was identified. It was established that the cabestan drum can be used as the rope-driving element of a through winch for lifting loads; however, for safe lowering, alternative methods not involving the winch drive are required, relying instead on the system's own weight.

Keywords: cabestan drum, traction coefficient, through winch.

Date of manuscript reception: 13.10.2025
Date of acceptance for publication: 25.01.2026
Date of publication: 25.03.2026

Authors' information:

Vladislav A. Ivanov – Student Bauman Moscow State Technical University,
e-mail: vlad.pocht2016@gmail.com.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0295-5449>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0295-5449>

Гнездилов Сергей Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Подъемно-транспортные системы», Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана; доцент кафедры робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»,
e-mail: gnezdilov@bmstu.ru.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3215-3840>

Садовой Кирилл Андреевич – студент Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана,
e-mail: kirsadovoy03@mail.ru.

Балков Валерий Владиславович – генеральный директор ООО «Электролифт»,
e-mail: valerybalkovv@gmail.com.

Sergey G. Gnezdilov – PhD (Eng), Associate Professor, Associate Professor of Department of Hoisting and Conveying Systems at Bauman Moscow State Technical University; Associate Professor of Department of Robotics, Mechatronics, Dynamics and Machine Strength at National Research University “Moscow Power Engineering Institute”,
e-mail: gnezdilov@bmstu.ru.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3215-3840>

Kirill A. Sadovoy – Student Bauman Moscow State Technical University,
e-mail: kirsadovoy03@mail.ru.

Valeriy V. Balkov – CEO of LLC «Elektrolift»,
e-mail: valerybalkovv@gmail.com.

1. Введение

Универсальным решением для создания высокого тягового усилия на канате являются мобильные (переносные) лебёдки с канатоведущим органом – кабестановым барабаном (рис. 1). Они применяются в различных отраслях промышленности: строительстве, поисковых и спасательных операциях, лесном хозяйстве, при выполнении различных видов работ в условиях дефицита электропитания [1, 2]. Мобильные лебёдки могут быть ориентированы под разными углами, обладают высокой мобильностью, малым весом, высоким тяговым коэффициентом и могут оперировать с канатом любой длины.



Рис. 1. Кабестановый барабан с боковым упором (Источник: *PortableWinch*)

Другим решением является сквозная (продольная) лебёдка. Такая лебёдка выполняет полезную работу, перемещаясь вдоль неподвижного каната. Сквозные лебёдки применяются для подъема не только грузов, но и людей. Они оборудуются дистанционными бло-

ками управления, электронными системами безопасности, датчиками и др. [3, 4].

Для вертикального перемещения специализированной грузовой платформы нами предлагается новое решение сквозной лебёдки, в которой функции рабочего канатоведущего органа выполняет кабестановый барабан. Для обеспечения безопасной эксплуатации оборудования актуальна оценка области его допустимого применения и выявление возможных ограничений в его работе.

Целью работы является исследование возможности применения кабестанового барабана в качестве канатоведущего органа сквозной лебёдки с использованием полиамидного каната. Для максимального охвата наиболее вероятных аспектов работы такой лебёдки актуальны задачи:

- 1) определить коэффициент трения между канатом и кабестановым барабаном;
- 2) определить тяговый коэффициент кабестанового барабана;
- 3) исследовать процесс подъема и спуска платформы.

В работе [5] представлена методика экспериментального определения тягового коэффициента шкива в зависимости от натяжения каната и профиля ручья. Шкив равномерно вращают до проскальзывания каната, фиксируя усилие динамометром на одной из его ветвей. Натяжения в ветвях каната такой системы связаны формулой

$$S_1 = S_2 \cdot e^{\mu \cdot \phi}, \quad (1)$$

где S_H – усилие натяжения набегающей ветви, S_C – усилие натяжения сбегающей ветви, f – коэффициент трения, φ – угол дуги обхвата.

Формула (1) выражает предельную тяговую способность шкива – максимальное отношение натяжений ветвей каната, при котором отсутствует проскальзывание. Оно определяется тяговым коэффициентом

$$k_T = e^{f \varphi}. \quad (2)$$

Из (1) получим выражение

$$f = \frac{\ln\left(\frac{S_H}{S_C}\right)}{\varphi}. \quad (3)$$

2. Описание экспериментального стенда

Кабестановый барабан с ребордами (рис. 1) имеет коническую рабочую поверхность (угол наклона образующей $1,5^\circ$), которая способствует осевому смещению витков каната, наматываемых по спирали на вращающийся барабан, до упора в боковой упор.

Экспериментальный стенд (рис. 2,а) включает: основание 1, редуктор 2 с воротком (для приведения барабана во вращение), кабестановый барабан 3, канат 4, грузы 5 и динамометр 6. При проведении испытаний использовалась 48-прядная 10 мм полиамидный канат (ТУ ВУ 591020810.008-2017), позволяющий создать на барабане 4 полных витка.

3. Определение коэффициента трения между канатом и барабаном

Канат является гибким телом и при изменении на нем усилия натяжения по различным причинам (изменение площади контакта и упругих свойства материала) может варьироваться значение коэффициента трения между канатом и барабаном [6]. Выполнено исследование различных факторов (количества витков каната, характера ее расположения на барабане и усилия натяжения) на коэффициент трения между канатом и поверхностью барабана. Проведено испытание с грузами массой от 10 до 40 кг (рис. 2,б). Количество полных витков, намотанных на барабан 3, варьировали от одного до двух. Витки располагали на барабане вдали от ре-

борд во избежание их взаимного касания (рис. 3,а).

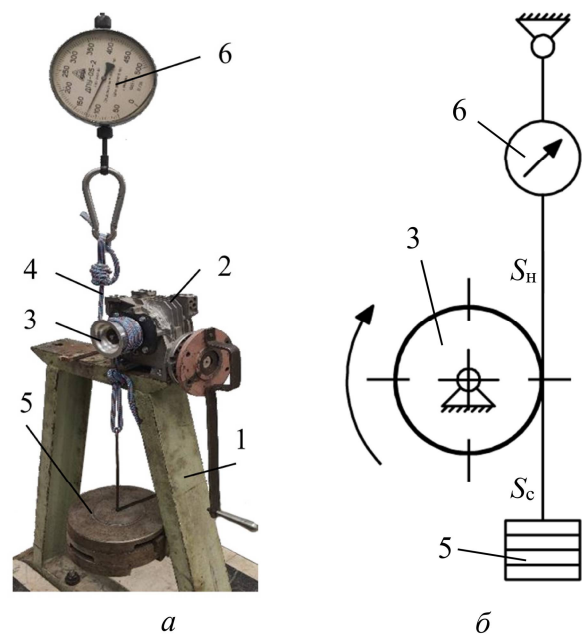


Рис. 2. Экспериментальный стенд:
а – фотография; б – схема

В ходе эксперимента вороток равномерно поворачивали, приводя в движение барабан и натягивая верхнюю ветвь каната. При достижении проскальзывания каната (относительно барабана) снимали показания с динамометра (натяжение в верхней ветви). Перед повторением опыта производили разгрузку системы. Каждый опыт проводили по три раза в два подхода с длительным временным промежутком, для минимизации влияния остаточного растяжения в канате.

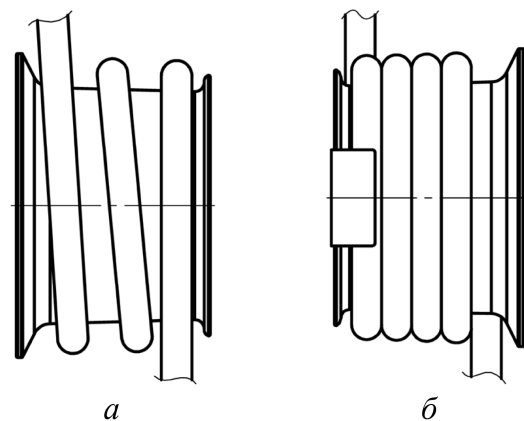


Рис. 3. Расположение витков каната на барабане: а – распределенное (без бокового упора); б – крайнее (с боковым упором)

На рис. 4 представлена диаграмма коэффициента трения (рассчитан по (3)) между канатом и барабаном от веса груза и количества витков каната.

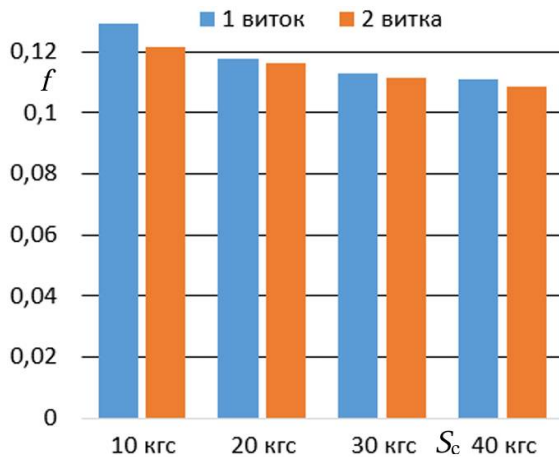


Рис. 4. Диаграмма коэффициента трения при распределенном расположении витков

Замечено (рис. 4), что с увеличением массы груза наблюдается снижение коэффициента трения [7–9]. Эта же закономерность наблюдается и при увеличении числа витков. Анализ промежуточных данных позволил также обнаружить влияние на них упругой ползучести в полимерных волокнах каната, для восстановления которых опыты проводились с длительным перерывом [10].

4. Определение тягового коэффициента

На стенде (рис. 2) в рабочем состоянии (намотанные витки прижимаются к боковому упору, рис. 3,б) исследовано влияние расположения и количества витков каната на тяговый коэффициент кабестанового барабана. На этот раз использовались грузы массой в диапазоне от 5 до 40 кг. Количество полных витков, намотанных на барабан, варьировалось от одного до четырех. Ход эксперимента аналогичен предыдущему. Каждый опыт проводился по 3–4 раза. На рис. 5 представлены зависимости (для разного количества витков) связывающие натяжения в набегающей и сбегающей ветвях.

В процессе эксплуатации такого привода возможны различные нештатные ситуации, в числе которых – отказ в работе бокового упора, вызванный, например, ослаблением

крепеза или физическим повреждением. Дополнительно исследовано влияние этого на тяговую способность кабестанового барабана посредством повторения предыдущих опытов со снятым боковым упором (результаты приведены на рис. 5). При этом витки каната располагались с краю барабана со стороны с наименьшим диаметром, прижимаясь в ближайшую к редуктору малую реборду.

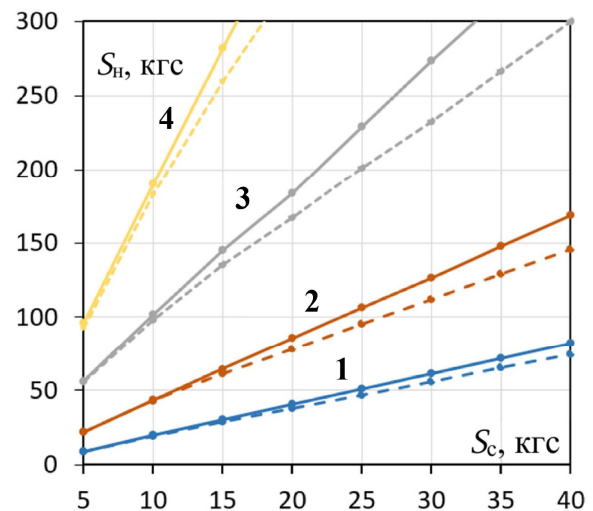


Рис. 5. Зависимость, отражающая связь натяжений набегающей и сбегающей ветвей с учетом влияния бокового упора (сплошная) и без него (прерывистая): 1 – один виток, 2 – два витка, 3 – три витка, 4 – четыре витка

Из полученных результатов (рис. 5) можно видеть, что выход из строя бокового упора снижает тяговую способность кабестанового барабана на 9–16 %.

5. Исследование процессов подъема и спусков платформы

Для оценки реальной работоспособности лебёдки проанализировано её поведение в условиях, приближенных к фактическим, а именно при выполнении операций подъема и спуска грузовой платформы.

Работа лебёдки «на подъем». Для исследования работоспособности лебёдки при вращении барабана в направлении подъема использован стенд (рис. 6) с дополнительными блоком и системой подвеса, позволяющими имитировать движение реальной

грузовой платформы. Для лучшего понимания влияния бокового упора на работу лебедки рассмотрено два (рис. 3,б и 7) варианта его расположения относительно барабана (рис. 6). На стенде верхняя ветвь каната перебрасывалась через жестко закрепленный блок Б и присоединялась к грузу Γ_2 массой 100 кг (имитирует вес поднимаемой платформы). На нижнюю ветвь подвешивались грузы Γ_1 разной массы в диапазоне от 7 до 30 кг. Количество полных витков, намотанных на барабан равнялось трём. В ходе эксперимента вороток равномерно поворачивали, приводя в движение барабан и поднимая груз Γ_2 .

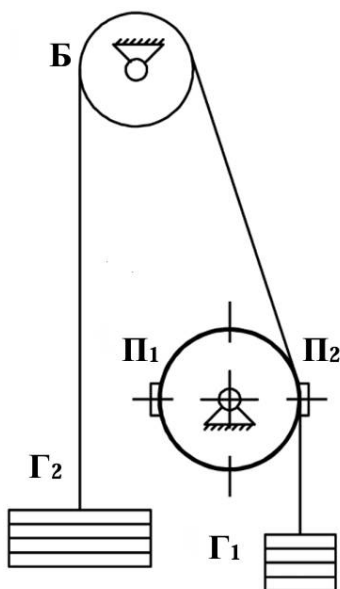


Рис. 6. Схема стенда: Γ_1 – груз сбегавшей ветви, Γ_2 – груз набегающей ветви; Б – блок; Π_1 – первое положение упора; Π_2 – второе положение упора

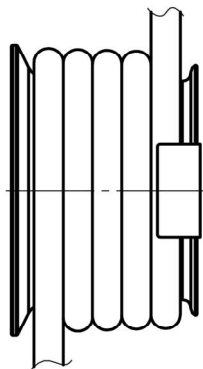


Рис. 7. Крайнее расположение витков каната на барабане с боковым упором

В ходе эксперимента замечено, что при расположении П2 бокового упора (рис. 6, 7) вращение барабана (вне зависимости от массы подвешиваемого груза) сопровождалось выдавливанием из-под бокового упора ближайшего к нему витка, что в конечном счете вело к спутыванию витков. При установке бокового упора в положение П1 (рис. 3,б и 6) спутывание витков не наблюдалась.

Работа лебедки «на спуск». Для исследования работоспособности лебедки при вращении барабана в направлении спуска на стенде (рис. 6) верхняя ветвь каната также перебрасывалась через жестко закрепленный блок Б и присоединялась к грузу Γ_2 массой 100 кг. На нижнюю ветвь подвешивались грузы Γ_1 массой от 7 до 30 кг. На барабан было намотано 4 витка. В ходе эксперимента вороток равномерно поворачивали, опуская груз Γ_2 .

Замечено, что в процессе эксперимента витки каната смещаются в сторону от бокового упора, из-за чего упор практически не взаимодействует с канатом. Также замечено, что независимо от массы подвешиваемого груза (в выбранном диапазоне), при вращении барабана «на спуск» последующие витки смещали крайний к торцу большей реборды и начинали спутываться (рис. 8) [11, 12]. Подобное «спутывание» витков делает лебедку непригодной для спуска платформы, требуя применение альтернативных способов.

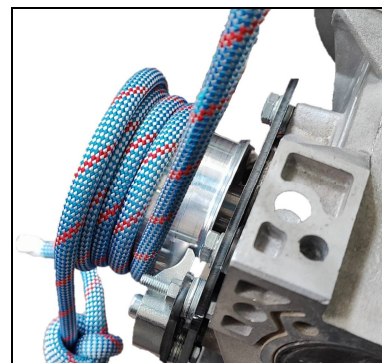


Рис. 8. Перематка каната при вращении барабана на «спуск»

Во избежание перематывания витков каната безопасный спуск платформы в подобной системе может быть реализован альтернативным образом без использования приво-

да лебёдки за счет собственной массы системы, что подтверждено опытным путем.

6. Заключение

Разработаны схемы станков и планы проведения экспериментов, позволяющие исследовать применимость кабестанового барабана в качестве рабочего канатоведущего органа сквозной лебёдки. В соответствии со схемами собраны экспериментальные установки, на которых проведены серии опытов. По полученным данным составлены диаграммы зависимости коэффициента трения от массы подвешенного груза и график зависимости, отражающей связь натяжений набегавшей и сбегавшей ветвей. Выполнен анализ результатов и сделан вывод о характере изменения коэффициента трения и тягового коэффициента. Проверено влияние расположения бокового упора на работоспособность системы. Освещено явление перемотки каната при вращении кабестанового барабана «на спуск» и предложено решение проблемы.

Среднее значение коэффициента трения между рабочей поверхностью кабестанового барабана и каната составило 0,116 (варьируется в диапазоне от 0,108 до 0,129). Неисправность бокового упора может снизить тяговую способность привода на 9–16 %. При работе привода на «спуск» можно безопасно (без перемотки каната) спустить платформу на 0,5 м.

Опираясь на полученные результаты, сделан вывод о допустимости применения кабестана для подъема грузов, однако для спуска необходимо применять альтернативные способы, либо дорабатывать конструкцию привода и проводить дополнительные испытания на его работоспособность. Определена минимальная масса подвешиваемого груза в зависимости от массы поднимаемого с условием отсутствия проскальзывания каната относительно барабана. Исследована работоспособность системы в зависимости от расположения бокового упора.

Список литературы

1. Akay A.E., Gümüş S., Başaran A. Evaluating Productivity of Small-Scale Cable Yarding System Integrated with a Portable Winch // *Croatian Journal of Forest Engineering*. 2023. No. 2. P. 259–274. doi: <https://doi.org/10.5552/crojfe.2023.1957>.
2. Gülci N., Akay A.E., Erdaş O., Acar H.H., Wing M.G. Controlled sliding of logs downhill by chute system integrated with port-able winch and synthetic rope // *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*. 2016. Vol. 66. No. 1. P. 256–263. doi: [10.17099/jffiu.18327](https://doi.org/10.17099/jffiu.18327).
3. Wire-rope winches for lifting people: e.lift NEO electric winch [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fixator.fr/en/product/e-lift-1500-2200-lbs-neo-winch/> (дата обращения 18.09.2025).
4. Lee K., Ahn S., Yang J., Kim H., Seo T. Rope on Rope: Reducing Residual Vibrations in Rope-Based Anchoring System and Rope-Driven Façade Operation Robot // *Sensors*. 2025. Vol. 25. No. 8. doi: <https://doi.org/10.3390/s25082463>.

References

1. Akay A.E., Gümüş S., Başaran A. Evaluating Productivity of Small-Scale Cable Yarding System Integrated with a Portable Winch. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2023, No. 2, pp. 259–274. doi: <https://doi.org/10.5552/crojfe.2023.1957>.
2. Gülci N., Akay A.E., Erdaş O., Acar H.H., Wing M.G. Controlled sliding of logs downhill by chute system integrated with portable winch and synthetic rope. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 2016, Vol. 35, No. 1, pp. 256–263. doi: [10.17099/jffiu.18327](https://doi.org/10.17099/jffiu.18327).
3. Wire-rope winches for lifting people: e.lift NEO electric winch. Available at: <https://fixator.fr/en/product/e-lift-1500-2200-lbs-neo-winch/>
4. Lee K., Ahn S., Yang J., Kim H., Seo T. Rope on Rope: Reducing Residual Vibrations in Rope-Based Anchoring System and Rope-Driven Façade Operation Robot. *Sensors*, 2025, Vol. 25, No. 8. doi: <https://doi.org/10.3390/s25082463>.

10.3390/s25082463.

5. Hrabovský L., Učeň O., Kudrna L., Čepica D., Frydrýšek K. Laboratory Device Detecting Tensile Forces in the Rope and Coefficient of Friction in the Rope Sheave Groove // *Machines*. 2022. Vol. 10. No. 7. doi: <https://doi.org/10.3390/machines10070590>.

6. Liang D., Shuai W., Song A., Xu X., Jia H., Luo J. Experimental Investigation of Equivalent Friction Coefficient Between Rope–Drum Mechanism and Pulley Transmission Loss for High-Altitude Wind Power Generation Systems // *Energies*. 2025. Vol. 18. No. 23. <https://doi.org/10.3390/en18-236079>.

7. Attaway S.W. Friction Mechanics and Rescue in Mountaineering // *International Technical Rescue Symposium (ITRS 99)*. 1999. P. 22.

8. Ge S. The friction coefficients between the steel rope and polymer lining in frictional hoisting // *Wear*. 1992. Vol. 152. No. 1. P. 21–29. doi: [https://doi.org/10.1016/0043-1648-\(92\)90201-I](https://doi.org/10.1016/0043-1648-(92)90201-I).

9. Peng Y., Zhu Z., Chen G., Cao G. Effect of tension on friction coefficient between lining and wire rope with low speed sliding // *Journal of China University of Mining and Technology*. 2007. Vol. 17. No. 3. P. 409–413. doi: [https://doi.org/10.1016/S1006-1266\(07\)-60115-1](https://doi.org/10.1016/S1006-1266(07)-60115-1).

10. Shimizu K., Nakayama S. Nonlinearity and hysteresis of wire rope elongation under tension load // *Bulletin of Nippon Bunri University*. 2023. Vol. 51. No. 2. P. 1–5.

11. Nakayama S., Shimizu K., Tahara H. Wire rope mis-wrap due to wire rope “cut-in” on LEBUS drums // *Transactions of the JSME*. 2025. Vol. 91. No. 944. P. 13. doi: <https://doi.org/10.1299/transjsme.24-00238>.

12. Иванов В.А., Балков В.В., Гнездилов С.Г. Кабестановый барабан в мобильных лебедках: экспериментальное исследование и перспективы применения // Сб. ст. VI Всероссийской научно-практ. конф. «Инновационное развитие техники и технологий наземного транспорта». Екатеринбург: УрФУ им. Б.Н. Ельцина, 2025. С. 186–190.

†
† 5. Hrabovský L., Učeň O., Kudrna L., Čepica D., Frydrýšek K. Laboratory Device Detecting Tensile Forces in the Rope and Coefficient of Friction in the Rope Sheave Groove. *Machines*, 2022, Vol. 10, No. 7. doi: <https://doi.org/10.3390/machines10070590>.

†
† 6. Liang D., Shuai W., Song A., Xu X., Jia H., Luo J. Experimental Investigation of Equivalent Friction Coefficient Between Rope–Drum Mechanism and Pulley Transmission Loss for High-Altitude Wind Power Generation Systems. *Energies*, 2025, Vol. 18, No. 23. doi: <https://doi.org/10.3390/en18236079>.

†
† 7. Attaway S.W. Friction Mechanics and Rescue in Mountaineering. *International Technical Rescue Symposium (ITRS 99)*, 1999. 22 p.

†
† 8. Ge S. The friction coefficients between the steel rope and polymer lining in frictional hoisting. *Wear*, 1992, Vol. 152, No. 1, pp. 21–29. doi: [https://doi.org/10.1016/0043-1648-\(92\)90201-I](https://doi.org/10.1016/0043-1648-(92)90201-I).

†
† 9. Peng Y., Zhu Z., Chen G., Cao G. Effect of tension on friction coefficient between lining and wire rope with low speed sliding. *Journal of China University of Mining and Technology*, 2007, Vol. 17, No. 3, pp. 409–413. doi: [https://doi.org/10.1016/S1006-1266\(07\)-60115-1](https://doi.org/10.1016/S1006-1266(07)-60115-1).

†
† 10. Shimizu K., Nakayama S. Nonlinearity and hysteresis of wire rope elongation under tension load. *Bulletin of Nippon Bunri University*, 2023, Vol. 51, No. 2, pp. 1–5.

†
† 11. Nakayama S., Shimizu K., Tahara H. Wire rope mis-wrap due to wire rope “cut-in” on LEBUS drums. *Transactions of the JSME*, 2025, Vol. 91, No. 944. 13 p. doi: <https://doi.org/10.1299/transjsme.24-00238>.

†
† 12. Ivanov V.A., Balkov V.V., Gnezdi-
†
† lov S.G. Cabestan drum in portable winches: experimental study and application perspectives In: *Sbornik statey VI Vserossiyskoy yfuchno-prakticheskoy konferentsii “Innovatsionnoe razvitie tehniki i tehnologiy nazemnogo transporta”*. Ekaterinburg, URFU im. B.N. Eltsina, 2025, pp. 186–190. (In Russian)