

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 62-427.42

СТАЛЬНЫЕ КАНАТЫ СЦЕНИЧЕСКИХ ПОДЪЕМОВ ДК «РОССИЯ»

Барановский Кирилл Владиславович, студент, направление подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: reidkirill@mail.ru

Научный руководитель: **Лисицкий Иван Иванович**, кандидат технических наук, доцент кафедры механики материалов, конструкций и машин, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: lisitskiy@mail.ru

Аннотация. В данной научной работе проведена экспертиза канатных систем сценических подъемов ДК «Россия». Экспертиза софитных ферм и штанкетов сцены в ДК давно не проводилась. Тема исследования актуальна, так как результатом проведенного исследования будет заключение экспертизы, которая запретит либо разрешит дальнейшую эксплуатацию канатных систем сценических подъемов. В статье был применен деформационный метод контроля каждой проволоки в сечении стального каната. А именно испытание каждой проволоки на разрыв. Также для проверки результата были проведены испытания цельного стального каната на разрывной машине. По результатам всех испытаний была определена маркировочная группа стального каната образца.

Данный способ экспертизы стальных канатов на объектах является более простым и доступным методом в исследовании каната на прочность.

Ключевые слова: канат, прочность, экспертиза, образцы, исследование, растяжение, характеристики, безопасность, сердечник, деформация.

Благодарности. Выражается благодарность научному руководителю, доценту кафедры механики материалов, конструкций и машин, кандидату технических наук Лисицкому И.И., а также работникам Студенческого центра ДК «Россия» ОГУ.

Для цитирования: Барановский К. В. Стальные канаты сценических подъемов ДК «Россия» // Шаг в науку. – 2023. – № 4. – С. 35–42.

STEEL ROPES OF STAGE LIFTS OF THE PALACE OF CULTURE «RUSSIA»

Baranovsky Kirill Vladislavovich, student, training program 24.03.01 Missile systems and astronautics, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: reidkirill@mail.ru

Research advisor: **Lisitsky Ivan Ivanovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanics of Materials, Structures and Machines, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: lisitskiy@mail.ru

Abstract. In this scientific work, an examination of the rope systems of stage lifts of the Palace of Culture «Russia» was carried out. An examination of soffit trusses and stage rails in the cultural center has not been carried out for a long time. The topic of the research is relevant, since the result of the research will be an expert opinion that will prohibit or allow the further operation of rope systems for stage lifts. In the article, a deformation method was used to control each wire in the section of a steel rope. Namely, tensile testing of each wire. Also, to check the result, tests were carried out on a solid steel rope on a tensile testing machine. Based on the results of all tests, the marking group of the steel rope of the sample was determined.

This method of examining steel ropes at sites is a simpler and more accessible method for testing rope strength.

Key words: rope, strength, examination, samples, research, stretching, characteristics, safety, core, deformation.

Acknowledgements. Gratitude is expressed to the research advisor, Associate Professor of the Department of mechanics of materials, structures and machines, Candidate of Technical Sciences Lisitsky I.I., as well as the employees of the Student Center of the Palace of Culture "Russia" of OSU.

Cite as: Baranovsky, K. V. (2023) [Steel ropes of stage lifts of the Palace of Culture «Russia»]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 4, pp. 35–42.

Экспертиза стальных канатов сценических подъемов ДК «Россия»

Стальные канаты – представляют собой сложные и ответственные инженерные изделия. Они производятся из высококачественной канатной проволоки¹.

В настоящее время основная доля грузоподъемных сооружений оснащается стальными канатами. Ими, как правило, оснащаются грузоподъемные сооружения, в том числе механизмы сценических подъемов в театрах и концертных залах.

Грузоподъемные сооружения относятся к объектам повышенной опасности. Требования к обеспечению безопасности эксплуатации регламентируются нормативно-техническими документами [4]. Требования обеспечения безопасности грузоподъемных сооружений в театрах и концертных залах регламентируются приказом Минтруда РФ от 16.12.2020 N 914Н «Об утверждении Правил по охране труда при выполнении работ в театрах, концертных залах, цирках, зоотеатрах, зоопарках и океанариумах»². Требования обеспечения безопасности грузоподъемных сооружений в театрах и концертных залах регламентируются приказом Минкультуры СССР от 23.05.1979 «Правила техники безопасности для театров и концертных залов»³.

В Правилах указывается, в частности, что все механизмы сценических подъемов должны подвергаться осмотрам и испытаниям ежегодно перед началом сезона⁴.

Испытания механизмов сценических подъемов проводятся при статических и динамических нагружениях. Статические испытания осуществляются нагружением механизмов грузами, превышающими номинальную грузоподъемность на 25%. Длительность испытания 15 минут.

Динамические испытания осуществляются 3–5 циклами подъема из нижнего положения в верхнее,

грузами, массой, превышающей номинальную грузоподъемность механизмов на 10%⁵.

Стальные канаты, подвески штанг, софитов, дорог и т. д. при электромеханическом приводе должны быть рассчитаны на растяжение и иметь 9-кратный запас прочности против разрывного усилия каната в целом [1].

В актовом зале ДК «Россия» установлены и эксплуатируются механизмы сценических подъемов:

- механизмы подъема софитных ферм – в количестве 5-ти шт. Фермы подвешены канатами в два ряда по три каната в ряду (рисунок 1);
- механизмы подъема металлических штанг (штанкеток) – в количестве 17 шт. (рисунок 2).

Подвес штанкеток осуществляется тремя канатами в один ряд.

При оценке технического состояния стальных канатов применяются методы контроля (визуальный, инструментальный, деформационный, дефектоскопия).

Освидетельствование данных механизмов длительное время не осуществлялось, вместе с тем, следует отметить, что проектные документы, паспорта на сценические подъемы отсутствуют.

Для установления соответствия канатных систем условиям эксплуатации и требованиям действующих нормативно-технических документов потребовалось определить типоразмер стального каната и его механические характеристики.

Для экспертизы канатных систем сценических подъемов ДК «Россия» нами были взяты соответствующие их образцы.

Образец стального каната длиной в 120 мм был разобран с целью изучения его строения, содержания пряди и параметров проволоки (рисунок 3) [5].

¹ ГОСТ 3070-88. Канат стальной двойной свивки типа ТК конструкции 6x19 (1+6+12)+1 о.с. Соргамент. – <https://docs.cntd.ru/document/1200004407?ysclid=lmah9boqwn162995367> (дата обращения: 15.04.2023).

² Об утверждении Правил по охране труда при выполнении работ в театрах, концертных залах, цирках, зоотеатрах, зоопарках и океанариумах: приказ Минтруда РФ № 914Н. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_373427/?ysclid=lmagtc4ywf306003678 (дата обращения: 15.04.2023).

³ Правила техники безопасности для театров и концертных залов: приказ Минкультуры РФ № 2. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=131511> (дата обращения: 15.04.2023).

⁴ РД РОСЭЖ 012-97. Канаты стальные контроль и нормы браковки. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200088304?ysclid=lmag6obie6745127425> (дата обращения: 15.04.2023).

⁵ ИСО 9554-2007 Изделия канатные. Общие технические условия. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200050792?ysclid=lmagbvw2nw223625934> (дата обращения: 15.04.2023).

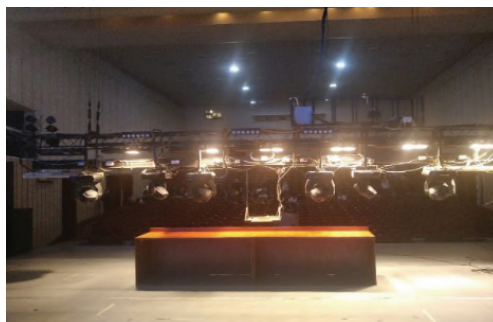


Рисунок 1. Подвес софитной фермы
Источник: разработано автором



Рисунок 2. Подвес штанги
Источник: разработано автором

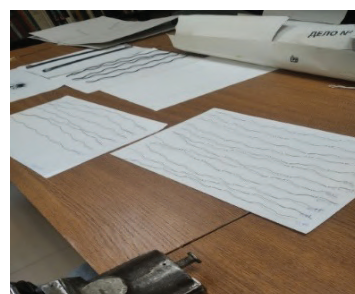
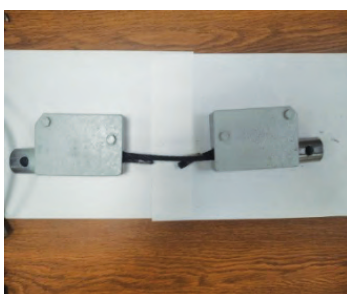


Рисунок 3. Образцы испытаний
Источник: разработано автором

Визуальным осмотром было установлено [2]:

- материал сердечника – органический;
- тип свивки – двойная;
- направление свивки прядей – правая;
- направление свивки проволоки в прядях –

левое;

- количество прядей – 6 шт.

Органический сердечник исследуемого участка каната (рисунок 4) представлял обуглившуюся массу, превратившуюся предположительно из-за термического воздействия на канат⁶.

⁶ ГОСТ 3070-88. Канат стальной двойной свивки типа ТК конструкции 6x19 (1+6+12) +1 о.с. Сортамент. – <https://docs.cntd.ru/document/t/1200004407?ysclid=lmah9boqwn162995367> (дата обращения: 15.04.2023).



Рисунок 4. Состояние сердечника обследуемого участка каната

Источник: разработано автором

Для замера диаметров проволок каната (рисунок 5) использовался микрометр с ценой деления в 0,01 мм

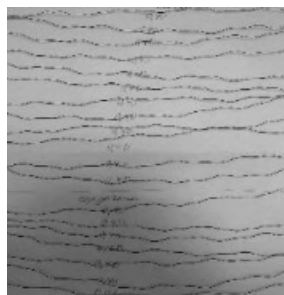


Рисунок 5. Образцы проволоки исследуемого каната

Источник: разработано автором

Характеристики каната:

- диаметр каната 6,5 мм;
- проволока диаметром 0,40 мм в количестве 108 штук;
- проволока диаметром 0,45 мм в количестве 6 шт.

Установленные визуальным способом вышеуказанные параметры позволяют сделать вывод, что ис-

полнение каната соответствует нормативно-техническому документу ГОСТ 3070-88.

Согласно ГОСТ 3070-88 канаты исполняются с различными маркировочными группами проволоки от 1370 до 2160 МПа.

Для установления маркировочной группы проволоки исследуемого каната были проведены их испытания на разрыв на установке ИР5047-50 (рисунки 6, 7)⁷.



Рисунок 6. Разрывная машина ИР5047-50

Источник: разработано автором

⁷ ГОСТ 28840-90. Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023577?ysclid=lmagr47ctz991019445> (дата обращения: 15.04.2023).

Испытания проволоки произведены в соответствии с требованиями ГОСТ 3241-91⁸.

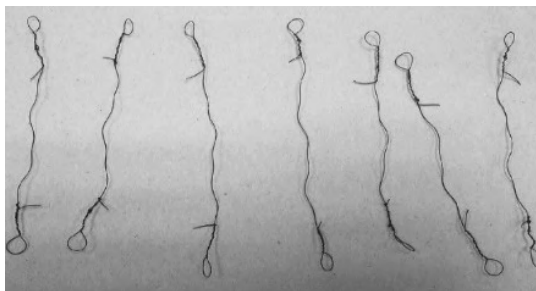


Рисунок 7. Образцы проволоки перед испытанием, диаметр проволоки 0,40 мм, длина 100 мм.

Источник: разработано автором

Следующим шагом в работе является статистическая обработка результатов испытаний механических свойств проволоки.

Соответствие марки каната группе прочности про-

волоки устанавливается по временному сопротивлению разрыву (пределу прочности) [8].

Результаты испытаний для проволоки диаметром 0,4 мм и 0,45 мм приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Результаты испытаний проволоки диаметром 0,4 мм

Номер образца диаметром 0,4 мм	Разрушающая нагрузка, Н	Напряжение разрушения, МПа
1	203	1615,4
2	198	1519,9
3	198	1496
4	164	1384,6
5	183	1320,9
6	166	1575,6
7	147	1241,4
8	181	1504
9	181	1559,7
10	196	1440,3
11	189	1440,3
12	156	1169,7
13	198	1320,9
14	166	1456,2
15	174	1305
16	188	1575,6
17	191	1575,6
18	176	1441,2
$\sigma_{\text{сумм}}$	–	25944,3

⁸ ГОСТ 3241-91. Канаты стальные. Технические условия. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200007601?ysclid=lmagawsw7t650588102> (дата обращения: 15.04.2023).

Таблица 2. Результаты испытаний проволоки диаметром 0,45 мм

Номер образца диаметром 0,45 мм	Разрушающая нагрузка, Н	Напряжение разрушения, Мпа
19	216	1358

Источник: разработано автором

1. Определение площади поперечного сечения проволоки.
Площадь поперечного сечения цилиндра определяется по формуле:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}.$$

При $d = 0,4$ мм, $S = 0,126$ мм²
При $d = 0,45$ мм, $S = 0,159$ мм²

2. Определение суммарной площади поперечного сечения проволоки в одной пряди.
Прядь стального каната включает в себя 18 проволочек диаметром 0,40 мм и одну проволоку диаметром 0,45 мм.

$$A_{\text{пряди}} = \sum S_i \cdot n,$$

$$A_{\text{пряди}} = A_1 \cdot n_1 + A_2 \cdot n_2 = 0,126 \cdot 18 + 0,159 \cdot 1 = 2,427 \text{ мм}^2,$$

$$A_{\text{каната}} = A_{\text{пряди}} \cdot 6 = 2,427 \cdot 6 = 14,562 \text{ мм}^2.$$

3. Определение среднего напряжения разрушения одной проволоки.

$$\sigma_{\text{ср}} = \sum \frac{\sigma_{\text{сумм}} + \sigma_{19}}{n} = \sum \frac{25944,3 + 1358}{19} = 1436,96 \text{ МПа},$$

где

n – количество испытаний,
 $\sigma_{\text{сумм}}$ = напряжение разрушения проволоки диаметра 0.40 мм,
 σ_{19} = напряжение разрушения проволоки сердечника.

4. Определение средней разрушающей нагрузки проволоки.

$$F_{\text{раз.ср}} = \sigma_{\text{ср}} \cdot A_1 = 1436,96 \cdot 0,126 = 181,057 \text{ Н}.$$

5. Определение разрушающей нагрузки пряди и каната.

$$F_{\text{раз.пряди}} = \sum F_{\text{раз.пров } 0,4\text{мм}} + F_{\text{раз.сердеч.}} = 3112,92 + 216 = 3328,92 \text{ Н},$$

$$F_{\text{раз.кан.}} = F_{\text{раз.пряди}} \cdot m = 3328,92 \cdot 6 = 20380,92 \text{ Н},$$

где

m – это количество прядей в стальном канате.

6. Определение разрывной прочности каната. Определение разрывного усилия каната возможно по суммарному разрывному усилию отдельных проволок, умноженному на 0,83.
Разрывное усилие каната указывается в его сертификате, а в случае его отсутствия определяется путем проведения лабораторных испытаний.

$$F_{\text{раз.ус.}} = F_{\text{раз.кан.}} \cdot 0,83 = 20380,97 \cdot 0,83 = 16916 \text{ Н}.$$

Значение разрывного усилия исследуемого каната в целом, по результатам испытаний проволоки, составляет 16578 Н.

Дополнительно было проведено испытание на раз-

рушения образца исследуемого каната диаметром в 6,2 мм (рисунок 8) на разрывной машине ИР-5047-50. Для проведения испытаний цельного каната на разрыв были спроектированы и изготовлены специальные захваты.



Рисунок 8. Образец стального каната в специальных захватах на машине ИР-5047-50

Источник: разработано автором

Данная конструкция захвата позволяет исключить изгиб каната в месте закрепления, что обеспечивает

получение более точных данных о его разрушающей нагрузке [6] (рисунок 9).



Рисунок 9. Крепление каната в специальных захватах

Источник: разработано автором

Проведено испытание на разрыв каната на разрывной машине, в результате были получены следующие данные:

- разрывное усилие испытуемого каната соответствует 19871 Н;
- прочность при растяжении составляет 1368,3 МПа;
- относительная деформация при разрыве составила 47,3%.

Расхождение с данными предполагаемой разруша-

ющей нагрузки каната, установленной по результатам испытаний проволоки, с результатами испытаний каната в целом обусловлено, по нашему мнению, характером распределения нагрузки между прядями образца, связанной с утратой своих качеств органического сердечника [3].

Для определения маркировочной группы стального каната, относящегося к документу ГОСТ 3070-88, были проведены испытания стального каната, не подвергнутого термическому воздействию (рисунок 10).



Рисунок 10. Участок каната, не подвергавшийся тепловому воздействию, после испытания на разрыв

Источник: разработано автором

Стальной канат также закрепляется в специальные захваты, а затем на разрывную машину. После проведения испытаний получены следующие данные:

- разрывное усилие испытуемого каната соответствует 24822 Н;
- прочность при растяжении составляет 1709,2 МПа;
- относительная деформация при разрыве составила 30%.

Образец разрушился при нагрузке в 24820Н, что, исходя из документа ГОСТ 3070-88, соответствует маркировочной группе 1960.

Заключение

Проведена работа по экспертизе стальных канатов, используемых в сценических подъемах ДК «Россия».

По результатам обследований каната было подготовлено заключение экспертизы, в котором рекомендовано остановить эксплуатацию механизмов сценических подъемов до проведения замены канатов. В основу заключения положены следующие факторы:

- утрачен сердечник каната. Органический сердечник каната представляет собой обуглившуюся массу, превратившуюся предположительно из-за термического воздействия;
- несоответствие механических характеристик каната, полученных в ходе испытаний на растяжение, с характеристиками технических условий на данный канат (ГОСТ 3070-88). Исследуемый канат имеет 80% нагрузочной способности от исходного каната [7];
- диаметр каната, подвергнутого термическому воздействию, изменился с 6,5 мм, исходя из ГОСТ 3070-88, до 6,2 мм, что составляет 4,6%.

Литература

1. Баева Л. С., Паялов А. В. Анализ исследований свойств материала стальных канатов // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета – 2003. – Т. 6, № 1. – С. 17–20.
2. Быков В. П. Напряжения вторичного изгиба и их влияние на долговечность стальных подъемных канатов: дис. ... канд. техн. наук. – Севастополь, 1984. – 170 с.
3. Дефектоскоп стальных прядных канатов: пат. 2484456, № 2011152221/28; заявл. 26.12.2011; опубл. 10.06.2013, Бюл. № 16. – 5 с.
4. Поляков С. В. Вывод параметров стального каната, влияющих на безопасность эксплуатации // Известия высших учебных заведений. Горный журнал, – 2019. – № 6, – С. 118–123. – <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2019-6-118-123>.
5. Сердечник для стальных канатов: пат. 2690269 Рос. Федерация, № 2016146282; заявл. 08.11.2016; опубл. 08.05.2018, Бюл. № 13. – 1 с.
6. Соединительный зажим для стальных канатов и стальных проводов: пат. 2372698 Рос. Федерация, № 2008140390/09; заявл. 14.10.2008; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 16. – 7 с.
7. Способ очистки стальных канатов: пат. 334283 Рос. Федерация, № 1479101/29-33; заявл. 24.09.1970; опубл. 30.03.1972, Бюл. № 12. – 2 с.
8. Шигарина Л. И. Основы нелинейной теории расчета стальных канатов: дис. ... канд. техн. наук. – Одесса, 1983. – 192 с.

Статья поступила в редакцию: 15.05.2023; принята в печать: 20.11.2023.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.