

УДК (UDC) 621.778.1

О КРИТЕРИЯХ И НОРМАХ БРАКОВКИ КАНАТОВ ПАССАЖИРСКИХ  
КАНАТНЫХ ДОРОГABOUT CRITERIA AND STANDARDS FOR DISCHARGE OF ROPES  
OF PASSENGER ROPEWAYSПанфилов А.В., Короткий А.А., Иванов Б.Ф., Панфилова Э.А.  
Panfilov A.V., Korotkiy A.A., Ivanov B.F., Panfilova E.A.Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону, Россия)  
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

**Аннотация.** Рассмотрены критерии браковки канатов пассажирских канатных дорог, описаны основные дефекты несущих-тяговых, тяговых и несущих канатов, возможные причины их возникновения и критерии браковки. Дано теоретическое обоснование дефектов, связанных с пластическими деформациями канатной проволоки (выдавливание проволоки, расслоение, перекручивание каната, перегибы, заломы, корзинообразность). Рассмотрены способы контроля состояния канатов в процессе эксплуатации пассажирских канатных дорог. Даны рекомендации по повышению уровня безопасности путем использования систем дистанционного мониторинга контроля, основанных на современных цифровых информационных технологиях. Предложены критерии браковки канатов пассажирских канатных дорог: по волнистости, износу и обрывам наружных проволок канатов, отсутствующие в действующих Федеральных нормах и правилах «Правила безопасности пассажирских канатных дорог и фуникулеров».

**Ключевые слова:** критерии и нормы браковки, дефекты канатов, система дистанционного мониторинга контроля.

**Дата принятия к публикации:** 01.03.2021  
**Дата публикации:** 25.03.2021

**Сведения об авторах:**

**Панфилов Алексей Викторович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», e-mail: panfilov@ikcmysl.ru

ORCID 0000-0001-7211-1824

**Короткий Анатолий Аркадьевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Эксплуатация транспортных систем и логистика» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», e-mail: korot@novoch.ru

ORCID: 0000-0001-9446-4911

**Иванов Борис Фёдорович** – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Центра научных компетенций ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», e-mail: ivanov@ikc-mysl.ru

**Abstract.** The criteria for the rejection of ropes of Passenger cable cars are considered, the main defects of load-bearing, traction and load-bearing cables, possible causes of their occurrence and the criteria for rejection are described. The theoretical substantiation of defects associated with plastic deformations of the rope wire (extrusion of wires, stratification, twisting of the rope, kinks, breaks, basket shape) is given. The methods of monitoring the state of ropes in the process of operation of passenger cable cars are considered. Recommendations are given to improve the level of security by using remote monitoring systems based on modern digital information technologies. The criteria for rejecting the ropes of passenger cable cars are proposed: according to the undulation, wear and breakage of the outer wires of the ropes, which are absent in the current Federal Norms and rules "Rules for the safety of passenger cable cars and funiculars".

**Keywords:** rejection criteria and standards, rope defects, remote control monitoring system.

**Date of acceptance for publication:** 01.03.2021  
**Date of publication:** 25.03.2021

**Authors' information:**

**Aleksey V. Panfilov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department "Operation of transport systems and logistics" at Don State Technical University, e-mail: panfilov@ikcmysl.ru

ORCID: 0000-0001-7211-1824

**Anatoly A. Korotkiy** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department "Operation of Transport Systems and Logistics" at Don State Technical University, e-mail: korot@novoch.ru.

ORCID: 0000-0001-9446-4911

**Boris F. Ivanov** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher at the Center for Scientific Communications, Don State Technical University, e-mail: ivanov@ikc-mysl.ru.

ORCID: 0000-0001-9080-5520

**Панфилова Эльвира Анатольевна** – кандидат философских наук, доцент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», e-mail: korotkaya\_elvira@mail.ru  
ORCID 0000-0002-8485-598

ORCID: 0000-0001-9080-5520

**Elvira A. Panfilova** - Candidate of Philosophy Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department "Operation of transport systems and logistics" at Don State Technical University, e-mail: korotkaya\_elvira@mail.ru  
ORCID 0000-0002-8485-5983

## 1. Введение

Одним из важнейших элементов пассажирской канатной дороги является стальной канат, от состояния которого зависит бесперебойная работа дороги и безопасность пассажиров. В [1] определены критерии браковки стальных канатов для подъемных сооружений:

- обрывы наружных проволок;
- поверхностный износ и коррозия;
- разрыв пряди;
- местное уменьшение диаметра каната;
- уменьшение площади поперечного сечения проволок каната (потеря внутреннего сечения);
- деформации (волнистость, корзинообразность, выдавливание проволок, «раздавливание» прядей, перекручивание, перегибы);
- повреждения в результате воздействия высокой температуры или электрического дугового разряда.

Эти же критерии могут использоваться при оценке технического состояния круглопрядных несущее-тяговых и тяговых канатов двойной свивки пассажирских канатных дорог. Критериями браковки несущих канатов закрытой конструкции, эксплуатирующихся на маятниковых пассажирских канатных дорогах, являются:

- обрывы фасонных проволок; износ и коррозия наружных проволок;
- выход из замка одной или нескольких фасонных проволок наружного слоя;
- местное увеличение и уменьшение диаметра каната;
- износ или коррозия наружных фасонных проволок;
- потеря внутреннего сечения;
- деформации;
- температурные воздействия.

При обнаружении дефекта, соответствующего указанной в [2] норме браковки, владелец канатной дороги должен принять

решение либо о проведении ремонта этого каната, либо о его замене.

Дефекты канатов, эксплуатирующихся на грузоподъемных кранах, подъемниках, лифтах и т.д., как и критерии их браковки, описаны в достаточной степени в нормативной и справочной литературе [1-19]. Однако для пассажирской канатной дороги в [2] приведено значительно меньше критериев и норм браковки, чем для подъемных сооружений в [1], хотя требования к безопасности при перевозке пассажиров должны быть более высокими, чем для подъема и перемещения грузов.

Анализ литературных источников, патентный поиск, сопоставление действующих нормативно-технических и правовых документов обосновал необходимость описать причины появления дефектов стальных канатов, эксплуатирующихся на пассажирских канатных дорогах, уточнить некоторые критерии браковки канатов, обосновать способы их контроля и обслуживания.

## 2. Описание дефектов стальных канатов

Обрывы наружных проволок (рис. 1) являются наиболее частыми дефектами несущее-тяговых и тяговых круглопрядных канатов.

Браковка несущее-тяговых и тяговых канатов по числу оборванных проволок проводится согласно [2] в зависимости от конструктивного построения каната (ГОСТ, тип свивки, конструкция, сочетание направления свивки). При этом обрывы проволок подсчитываются на фиксированной длине участков каната, равной 6 или 30 диаметрам каната.

Обрывы наружных проволок обусловлены суммированием переменных изгибных напряжений, вызванных прохождением каната по шкивам и роликам, с напряжениями растяжения и свивочными (возникающими в процессе изготовления прядей и каната в целом). Воздействие переменных напряжений



Рис. 1. Обрывы наружных проволок несущего каната

приводит к усталости металла проволок, образованию макротрещин и обрыву [5, 6]. Усталостное разрушение может возникнуть при напряжениях ниже предела текучести. Особенностью многоциклового усталости является то обстоятельство, что проволока в целом деформируется упруго, но происходит местная повторная упруго-пластическая деформация отдельных кристаллов, неблагоприятно ориентированных по отношению к силовому полю. При достижении критической степени искажения решетки происходит разрыв межатомных связей и полное разрушение проволок (обрыв), которое происходит в зоне многоциклового усталости при наработке от  $5 \cdot 10^4$  циклов. Предел выносливости при изгибе  $\sigma_{-1}$  связан с пределом выносливости при растяжении-сжатии  $\sigma_{-1p}$  статистическим соотношением

$$\sigma_{-1} = (1 \dots 1,5) \sigma_{-1p}.$$

При изгибе на шкивах и роликовых балансирах пряди и проволоки контактирующих слоев каната смещаются относительно друг друга, вызывая истирание проволок наружных слоев. На интенсивность износа влияет состояние ручьев шкивов и роликов, кручение каната при перемещении и скорость движения подвижного состава пассажирских канатных дорог. Несмотря на то обстоятельство, что в качестве несущего и тяговых канатов используются оцинкованные канаты марок Ж или ОЖ, в результате механического воздействия и влияния агрессивной внешней среды, наружные проволоки корродируют, что снижет прочность канатов в целом. Согласно [2] для пассажирских канатных дорог при уменьшении диаметра каната в результате износа или коррозии на-

ружных проволок на 7% и более по сравнению с номинальным диаметром, канат подлежит браковке.

Еще одним нормативом браковки каната по наружному износу (и не менее важным) является уменьшение первоначального диаметра наружных проволок в результате износа или коррозии на 40% и более. К сожалению, этот норматив в [2] отсутствует.

Износ наружных проволок при уменьшении диаметра на 40% и более визуально определяется отсутствием цилиндричности смежных изношенных проволок и характерным блеском плоских площадок износа. Для выявления степени поверхностной коррозии участки с наибольшей интенсивностью поражения должны быть очищены, а замеры выполняются аналогично поверхностному износу. В случае, если на канате имеются оборванные проволоки, применяют визуальный-измерительный контроль их диаметра и, соответственно, имеющегося износа или коррозии наружных проволок.

Предлагаем использовать в [2] для пассажирских канатных дорог дополнительную норму браковки канатов по износу 40% и более диаметра наружных проволок, приравнявая число изношенных на 40% проволок к нормативу по обрывам.

Разрыв одной или нескольких прядей являются очень редким дефектом круглопрядных канатов пассажирских канатных дорог. При обнаружении в канате оборванной пряди (рис. 2), канат немедленно бракуется и к дальнейшей работе не допускается.

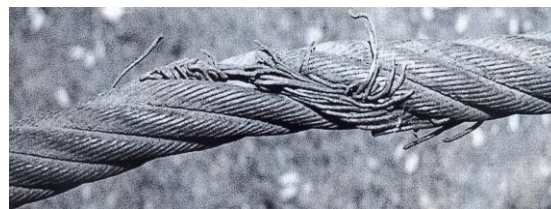


Рис. 2. Разрыв пряди каната

Местное уменьшение диаметра несущего и тяговых канатов, как правило, обусловлено деформацией, разрывом, старением или выдавливанием сердечника, внутренним износом, смятием, раздавливанием проволок внутренних слоев. При местном уменьшении номинального диаметра каната



на 10% несуще-тяговый или тяговый канат согласно [2] бракуется (или подлежит ремонту).

Местное увеличение диаметра канатов может происходить под воздействием влаги и низких температур, когда замерзает разбухший органический сердечник, а также из-за пластических деформаций внутренних слоев каната (рис. 3). Предлагается по аналогии с нормативом по местному уменьшению диаметра каната браковать круглопрядные несуще-тяговые и тяговые канаты пассажирских канатных дорог, а также все канаты, используемые в качестве подъемных, при местном увеличении диаметра каната на 10%. Мало-крутящиеся канаты должны быть забракованы при местном изменении диаметра на 3 %.



Рис. 3. Местное увеличение диаметра каната

В процессе эксплуатации на пассажирских канатных дорогах канаты могут снизить свою первоначальную прочность из-за потери внутреннего металлического сечения, вызванной износом, коррозией, внутренними обрывами, контактным смятием проволок внутренних слоёв. Проверка внутреннего сечения канатов осуществляется магнитной дефектоскопией. Канат бракуется при выявлении потери внутреннего сечения на 10% и более с помощью магнитной дефектоскопии [18].

Канаты с деформационными дефектами подлежат браковке при их обнаружении в процессе эксплуатации пассажирских канатных дорог [2]. Выдавливание проволок является весьма опасным дефектом, характеризующимся смещением избыточных длин проволок под воздействием значительных сил трения скольжения, возникающих при взаимодействии с роликами и воздействием динамических нагрузок (рис. 4).



Рис. 4. Выдавливание проволок

Корзинообразная деформация характеризуется отслоением одной или более смежных наружных прядей многопрядных канатов, связанным с кручением каната и износом ручьев шкивов и балансирных роликов. Раздавливание (сплющивание) каната происходит в результате чисто механического воздействия.

Перекручивание каната происходит под воздействием динамических нагрузок на прослабленную часть каната. Деформации в виде перегиба или залома образуются при значительном изгибе каната в процессе монтажных или ремонтных работ. В результате проволоки получают пластические деформации и пониженную прочность.

Повреждение каната в результате воздействия высоких температур, в том числе электрического дугового разряда или удара молнии, определяют визуально по обгорелой поверхности каната, характерному изменению цвета. При визуальном обнаружении температурного воздействия канат подлежит магнитной дефектоскопии или браковке.

Деформационный дефект «волнистость» является наиболее опасным дефектом и может появиться как по длине, так и на месте счалки несуще-тягового или тягового каната [22]. Канат может внезапно выйти из строя за счет снижения несущей способности. Дефект возникает вследствие неодинаковых перемещений (деформаций) проволок и прядей, обусловленных различиями в длине и механических характеристиках винтовых элементов, расположенных в пределах одного слоя. Прядь большей длины под действием растяжения меньше нагружена, а меньшей длины – более нагружена. Это приводит к тому, что прямолинейный канат принимает форму винтовой спирали. Конструкция каната с органическим сердечником позволяет «лишнюю длину» пряди компенсировать вдавливанием её в сердечник. В канатах с полимерным сердечником из-за значительной поперечной жесткости материала этого не происходит – формируется устойчивая волнистость (рис. 5).

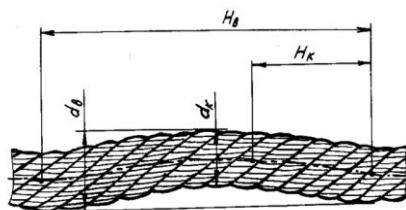
Стальной канат представляет собой сложную механическую систему, у которой при изгибе на шкивах, происходит взаимное



Рис. 5. Волнистость несущего каната

перемещение прядей и проволок путем их относительного скольжения и перекатывания. Отсутствие смазки приводит к ограничению подвижности проволок и прядей и, как следствие, изменению тангенциального зазора между прядями, последующему силовому перераспределению растягивающей нагрузки между ними. Силовое перераспределение растягивающей нагрузки между прядями при эксплуатации характеризуется образованием дефекта в виде волнистости, механизм образования которого, в том числе, является «закусывание» одной из прядей другими смежными прядями в процессе эксплуатации.

Процесс образования дефекта волнистости характеризуется относительным кручением стального каната вокруг своей оси. Параметрами волнистости являются шаг  $H_в$ , направление и диаметр волнистости  $d_в$  (рис. 6).

Рис. 6. Параметры волнистости несущего каната ( $H_к$  - шаг свивки;  $d_к$  - диаметр каната)

Наиболее опасным является совпадение направления свивки каната с направлением волнистости и равенство  $H_в=H_к$ . В этом случае канат бракуется при  $d_в > 1,08d$ . При несовпадении указанных условий канат подлежит браковке при  $d_в > 1,33d$ .

В связи с имеющимися фактами появления дефекта волнистости на канатах (несущих, тяговых, несущих [7-9]) считаем целесообразным внести этот дефект в качестве критерия, а вышеприведенное условие – нормативом браковки канатов по волнисто-

сти в раздел «Канаты» пассажирских канатных дорог [2].

Необходимо отметить, что в ФНП по подъемным сооружениям [1], несмотря на достаточно полное описание в п. 270 критериев и норм браковки, в разделе «Требования к браковке стальных канатов» отсутствует норматив браковки по местному увеличению диаметра каната на 10%, а такие дефекты встречаются в процессе эксплуатации канатов на грузоподъемных кранах, подъемниках и др. В связи с этим считаем необходимым внести такой норматив в указанный раздел. Кроме этого, в разделе «Требования к браковке канатных и цепных стропов, а также текстильных стропов на полимерной основе» (п.п. 271, 274) [1] в качестве критериев браковки канатных стропов указаны обрывы наружных проволок, а также трещины, износ, остаточные деформации, повреждения резьбовых соединений металлических элементов стропов. В то же время, в процессе эксплуатации канатные стропы подвержены всем дефектам, указанным в разделе по браковке стальных канатов. Поэтому предлагаем п.271 дополнить фразой: «...а также при обнаружении дефектов, соответствующих нормам браковки, указанным в п.270».

На пассажирских канатных дорогах в качестве несущих применяются канаты закрытой конструкции, к эксплуатационным и технологическим преимуществам которых относятся:

- высокий коэффициент заполнения поперечного сечения (до 0,91);
- гладкая наружная поверхность, способствующая снижению удельного давления между канатом и опорным башмаком, что приводит к уменьшению износа наружных проволок;
- плотная структура каната, образованная фасонными наружными проволоками, которая препятствует проникновению влаги внутрь и коррозионным процессам.

На рис. 7 показаны поперечные сечения несущих канатов закрытой конструкции, соответственно, с Z-, 8-и Ω-образными проволоками в наружном слое.

Основной причиной браковки несущих канатов закрытой конструкции являются об-

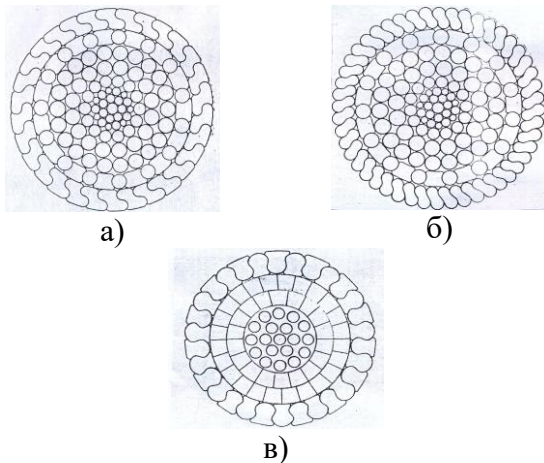


Рис. 7. Поперечное сечение несущих канатов закрытой конструкции: а – Z-образная проволока в наружном слое; б – 8-образная проволока; в –  $\Omega$ -образная проволока

рывы наружных Z-образных проволок (рис. 8). Из-за этого дефекта отбраковываются не менее 80% несущих канатов [9].



Рис. 8. Обрыв фасонной проволоки несущего каната закрытой конструкции

Дефект в виде обрыва фасонных проволок объясняется усталостными процессами при неравномерном нагружении винтовых элементов наружного слоя в процессе эксплуатации. Несущие канаты подлежат замене по обрывам наружных проволок для пассажирских канатных дорог в следующих случаях [2]:

- на участке  $6d$  имеются обрывы двух и более смежных (соседних) проволок наружного слоя;

- на участке  $30d$  оборвано 16,6% (одна шестая часть) фасонных проволок наружного слоя;

- конец оборванной проволоки выступает.

В связи с неопределенностью значения норматива в последней фразе её предлагается продолжить: «... на величину 5 мм и бо-

лее от поперечного контура каната». В этом случае выступающая проволока будет препятствовать прохождению ходовых колёс вагона.

Износ наружных фасонных проволок несущего каната происходит за счёт трения и удельного давления в местах соприкосновения каната с колесами вагона и опорными башмаками пассажирских канатных дорог. Согласно [2] при износе наружной проволоки на 50% ее высоты и более канат закрытой конструкции следует браковать. Считаем, что норма браковки, соответствующая износу наружной фасонной проволоки, равному 50% её высоты, приводит к тому, что изношенная до такого состояния проволока (или несколько смежных проволок) может выйти из замка еще до указанного износа. Предлагается ужесточить эту норму – браковать несущий канат при обнаружении износа, равного 40% высоты наружной проволоки.



Рис. 9. Выход из замка наружных проволок несущего каната

Дефект несущих канатов в виде выхода из замка одной или более проволок наружного слоя без ее обрыва встречается на пассажирских канатных дорогах редко, однако при его обнаружении канат должен подвергаться ремонту или браковаться (рис. 9). Несущие канаты закрытой конструкции, как правило, изготавливаются в малокрутящемся исполнении – слои проволок свиваются в различных направлениях, при этом крутящие моменты, возникающие в слоях одного направления должны уравниваться моментами в слоях противоположного направления, что не всегда удается выполнить технологически. Кроме этого, при движении вагона под воздействием его веса происходит проскальзывание несущего каната относительно башмаков линейных опор и канат оказывается нагруженным продольными силами сопротивления, сосредоточенно при-



ложенными на отдельных участках каната, приводящими к его кручению [8]. Направление кручения определяет характер изменения нагрузки. При раскручивании наружного слоя напряжения растяжения в его проволоках уменьшаются, в то же время внутренние слои закручиваются и напряжения в них, соответственно, возрастают. С появлением радиального зазора между слоями это приводит к выходу из замка одной или более наружных проволок, а при дальнейшей эксплуатации – к расслоению (рис. 10).

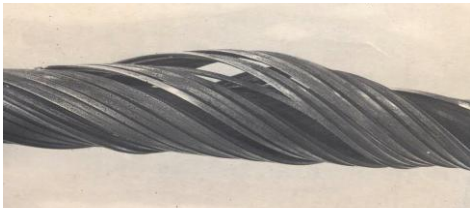


Рис. 10. Расслоение (отслоение проволок наружного слоя) несущего каната закрытой конструкции

При закручивании наружного слоя проволок и раскручивании нижележащего слоя канат работает в благоприятных условиях. Динамические нагрузки при эксплуатации пассажирских канатных дорог, неодинаковые характеристики профиля и механические свойства проволок по длине, изгиб каната на башмаках опор способствуют появлению в отдельных проволоках перегруженных внутренних слоев «лишней длины», которая находит себе выход в виде выпучивания (рис. 11).



Рис. 11. Выдавливание (выпучивание) проволок нижележащего слоя несущего каната

При обнаружении на несущем канате пассажирских канатных дорог таких дефектов, как расслоение или выдавливание проволок внутренних слоев (выпучивание), канат необходимо браковать.

Структурный дефект «волнистость» (рис. 12) является причиной снятия с эксплуатации 4% от общего числа обследованных несущих канатов маятниковых пассажирских канатных дорог. Механизм образования этого дефекта на несущих канатах закрытой конструкции аналогичен круглопрядным – невозможность обеспечения равенства геометрических параметров и механических характеристик винтовых элементов до длине при изготовлении канатов. Закрытый канат необходимо браковать при параметрах волнистости, указанных для круглопрядных канатов.

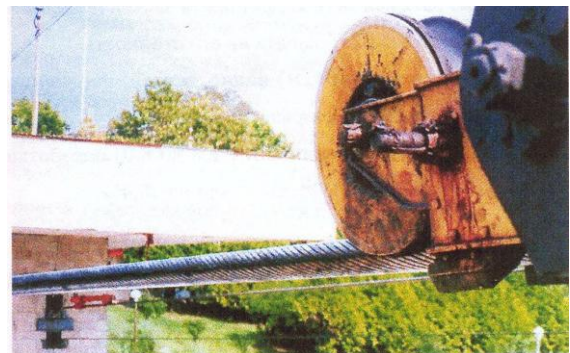


Рис. 12. Волнистость в несущем закрытом канате маятниковой пассажирской канатной дороги

Нормативы по остальным дефектам несущих канатов – местное уменьшение и увеличение диаметра каната, деформации, температурное воздействие – идентичны нормам браковки круглопрядных канатов. На рис. 13 представлен дефект «местное увеличение диаметра каната», образовавшийся в результате перегрузки проволок внутренних слоев несущего каната.



Рис. 13. Дефект несущего каната закрытой конструкции – местное увеличение диаметра каната

### 3. Аналитическое обоснование возникновения дефектов на пассажирских канатных дорогах из-за пластических деформаций канатной проволоки

Прочностные расчеты проволок канатов обычно проводят по допускаемым напряжениям или несущей способности. При расчете по допускаемому напряжению за опасное состояние принимают такое, при котором в наиболее напряженном крайнем волокне проволоки нормальные напряжения достигают значения предела текучести.

Изгибающий момент в поперечном сечении каждой проволоки, соответствующий появлению пластических деформаций:

$$M_T = \sigma_T W_H, \quad (1)$$

где  $W_H$  – момент сопротивления поперечного сечения проволоки при изгибе;  $\sigma_T$  – предел текучести материала проволоки.

Расчет по несущей способности производится по нормальным напряжениям без учета упрочнения материала проволок от пластических деформаций. Для получения выражения допускаемого изгибающего момента  $M_{\max}$  в уравнение (1) введем коэффициент запаса прочности  $Z_p = \sigma_T / [\sigma]$ ;  $[\sigma]$  – допускаемое напряжение в проволоках каната. Тогда

$$M_{\max} = [\sigma] W_H. \quad (2)$$

При расчете по несущей способности за опасное состояние проволоки принимаем состояние, при котором во всех точках опасного сечения нормальные напряжения достигают значения предела текучести. Тогда изгибающий момент в поперечном сечении каждой проволоки каната определится выражением

$$M_H = 2\sigma_T S_T, \quad (3)$$

где  $S_T$  – статический момент половины площади поперечного сечения проволоки относительно центральной оси ( $S_T = 2r^3/3$ ).

Введя в (3) коэффициент запаса прочности, получим выражение допустимого изгибающего момента:

$$M_{\max}^H = 2[\sigma] S_T. \quad (4)$$

Разделив выражение (4) на (2), получим:

$$M_{\max}^H / M_{\max} = 2S_T / W_H \approx 1,7. \quad (5)$$

Можно сделать вывод, что при одинаковых коэффициентах запаса прочности значение допускаемого изгибающего момента  $M_{\max}^H$  при расчетах по несущей способности в 1,7 раза превышает значение величины изгибающего момента  $M_{\max}$ , полученной расчетом по допускаемым напряжениям.

Величина растягивающих напряжений определяется выражением

$$\sigma_P = \sigma_T / Z_P. \quad (6)$$

Для стали Ст. 45  $\sigma_T = 970$  МПа, поэтому минимальный запас прочности  $Z_P$  для тяговых канатов пассажирских канатных дорог должен соответствовать значению в зависимости от типа дороги – от 3,8 до 4,5; для несуще-тяговых канатов принимается равным 4; для несущих канатов – от 2,7 до 3,15 [1].

Дефекты, связанные с пластическими деформациями канатной проволоки (выдавливание, выпучивание проволок, прядей, перекручивание, перегибы, заломы, обрывы прядей, корзинообразность, расслоение проволок и прядей), могут образовываться при превышении в процессе эксплуатации значений указанных в расчете параметров.

### 4. Организация контроля технического состояния канатов на пассажирских канатных дорогах

Контроль состояния канатов на пассажирских канатных дорогах проводит ремонтная служба (слесари-обходчики) под руководством ответственного за исправное состояние и безопасную эксплуатацию при осмотре, обслуживании и ремонте канатов. В настоящее время Советом по профессиональным квалификациям в лифтовой отрасли, сфере подъемных сооружений и вертикального транспорта подготовлен проект профессионального стандарта «Специалист по ремонту и обслуживанию стальных канатов канатных дорог и фуникулеров».

В процесс обслуживания входит ежедневный осмотр, профилактические работы (очистка, смазка, выравнивание роликов и роликовых балансиров, замена поврежденных бандажей и футеровок и др.), а также ежемесячные и ежегодные ревизии канатов



[2, 10, 11]. Особое внимание при обслуживании должно уделяться контролю участков счалки канатов, на которых производят дополнительную смазку согласно руководству по эксплуатации пассажирских канатных дорог. Вопросы смазки стальных канатов для пассажирских канатных дорог в [2] отсутствуют. Данный вид работ при техническом периодическом обслуживании канатов очень важен и отражен в соответствующих Европейских нормах [23, 24].

В п.560 [2] указано, что регламентные работы при эксплуатации пассажирских канатных дорог и ее элементов следует производить в соответствии с руководством по эксплуатации. Руководством по эксплуатации пассажирских канатных дорог и инструкцией по эксплуатации каната установлено, что в процессе эксплуатации необходимо производить его ревизию и профилактику путем периодического нанесения специального защитного и смазывающего средства на сам канат и его счалку. Результаты ревизии каната должны регистрироваться в письменном виде и храниться весь период эксплуатации.

Средство для смазки должно быть специальным и наноситься самотеком либо пульверизатором. [23, 24].

Для ежегодного контроля фактического состояния согласно требованиям [2] канаты должны подвергаться магнитной дефектоскопии. В процессе дефектоскопии по всей длине каната проводится оценка потери внутреннего сечения, вызванного износом, коррозией, обрывами, контактным смятием проволок внутренних слоёв канатов.

Периодичность дефектоскопического контроля канатов, осуществляемого аттестованными специалистами – первично после монтажа на пассажирских канатных дорогах, затем каждые три года в течение пятнадцати лет эксплуатации, а далее ежегодно. Дефектоскопия осуществляется перемещением каната со скоростью 0,5...1,0 м/с относительно магнитной головки, установленной в зоне контроля каната. Информация по результатам загружается в персональный компьютер для обработки в виде дефектограмм и подготовки отчета. Отчет по дефектоскопии хранится в паспорте пассажирской канатной дороги для

сравнения с результатами предыдущей и последующей дефектограммами [18].

Во время ежедневного осмотра слесарь-обходчик выполняет объезд (обход) дороги и проводит общий осмотр трассы пассажирской канатной дороги. При этом он выполняет проверку правильности положения каната на шкивах и роликах балансиров и прохождения по ним, проводит визуальный осмотр каната, обращая внимание на наличие дефектов, в том числе и на участках счалки.

В ходе ревизии персонал осуществляет контроль каната и креплений его концов. Так, визуально-измерительный контроль каната производится на ревизионной скорости (до 0,5 м/с) в освещенном месте с применением зеркала (рис. 14) с многократным замером диаметра каната на различных его участках и в зоне счалки.



Рис. 14. Проверка каната с использованием зеркала при визуально-измерительном контроле

Кручение несущего каната при эксплуатации пассажирской канатной дороги является одним из факторов, снижающих его качество [20]. Заводы-изготовители в процессе свивки наносят горизонтальную сплошную линию на наружную поверхность прядей по длине каната (как правило, синего цвета) для контроля кручения при счалке (линия должна быть непрерывной и прямолинейной), а также для оценки влияния эксплуатационных факторов (отклонений от прямолинейности, износа футеровки, смещения балансиров и пр.) под нагрузкой (рис. 15).

В процессе монтажа каната и при счалке его концов непрерывная полоса должна быть прямолинейной (не закрученной вокруг оси стального каната). В процессе эксплуатации,

положение полосы является одним из критериев визуального контроля стального несуще-тягового каната на предмет возникновения волнистости.



Рис. 15. Сплошная горизонтальная линия для контроля осевого кручения несуще-тягового каната

Необходимо отметить, что как визуально-измерительный, так и инструментальный методы контроля канатов продолжительны по времени и не всегда качественно оценивают наличие дефектов, которые могут способствовать возникновению аварийного состояния дороги, т.к. зависят от человеческого фактора, которому присущи ошибки, связанные с физиологическими возможностями глаза и чувствительностью магнитного датчика.

Анализ литературных источников [4-18, 22-24] и патентный поиск [19, 20] показали, что за последние годы исследования в этой области направлены на выявление дефектов канатов на пассажирской канатной дороге с использованием метода магнитоскопии. Однако данный метод не позволяет обнаружить такие дефекты каната, как волнистость, кручение, поражение электрическим током и др., которые являются, на наш взгляд, более опасными с точки зрения внезапной потери несущей способности.

Новым этапом в повышении безопасности пассажирских канатных дорог является непрерывный мониторинг технического состояния стального каната в процессе его экс-

плуатации по интегральным показателям, охватывающий все известные критерии браковки, в реальном режиме времени с использованием современных цифровых информационных технологий, в том числе, компьютерного зрения, искусственного интеллекта и технологий интернета вещей [21].

## 5. Выводы

1. Анализ литературных источников, патентный поиск, сопоставление действующих нормативно-технических и правовых документов в отношении критериев, норм браковки и дефектов канатов пассажирских канатных дорог показал, что существующие в [2] нормы браковки не в полной мере соответствуют известным дефектам, возникающим на стальных канатах, в связи с чем, предлагается дополнить раздел «Канаты» следующими нормативами:

- для несуще-тяговых и тяговых канатов: износ и коррозия 40% диаметра наружных проволок;

- для несуще-тяговых, тяговых и несущих канатов: дефект «волнистость» с её характеристиками;

- местное увеличение диаметра каната на 10%;

- для несущих канатов: износ наружной фасонной проволоки на 40% ее высоты;

- несущие канаты подлежат замене по обрывам наружных проволок если конец оборванной проволоки выступает на длину более 5 мм от поперечного контура каната);

В раздел «Требования к браковке стальных канатов подъемных сооружений» [1] ввести критерий браковки:

- местное увеличение диаметра каната на 10%;

2. Использовать системы дистанционного контроля непрерывного мониторинга технического состояния стального каната в процессе эксплуатации по интегральным показателям, охватывающие все известные критерии браковки, в реальном режиме времени с использованием современных цифровых информационных технологий, в том числе, компьютерного зрения, искусственного интеллекта и интернета вещей.

3. Несущие-тяговые канаты должны иметь сплошную полосу на поверхности каната для визуального контроля счаливания концов, не допускать его поворот вокруг собственной оси, и визуального контроля зарождения дефекта волнистости.

4. Рекомендовать для несущие-тяговых канатов при достижении: 20...25% от допустимых циклов, установленных заводами-

изготовителями, проводить обследование участка счалки с проверкой диаметра замков; 35-40% от допустимых циклов - произвести перемещение замков счалки путём укорочения каната.

5. Установить периодичность нанесения смазки на несущие-тяговые канатов при эксплуатации: для каната в целом – один год; для участка счалки – не реже двух месяцев.

### Список литературы

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения». Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26.11.2020 г. № 461.

2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности пассажирских канатных дорог и фуникулеров». Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 13.11.2020 г. № 441.

3. РД РОСЭК 012-97. Канаты стальные. Контроль и нормы браковки. 1997. 52 с.

4. Хальфин М.Н., Короткий А.А., Иванов Б.Ф., Папирняк В.П. Крановые канаты. Новочеркасск: Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И.Платова, 2015. 127 с.

5. Иванов Б.Ф., Хальфин М.Н., Логвинов А.С., Власов Д.В. Об ускоренных испытаниях канатной проволоки // Подъемно-транспортные и строительные системы: наука и инновации: межвуз. сборник науч. трудов / Южно-Российский государственный политехнический ун-т (НПИ) имени М.И. Платова. Новочеркасск: Лик, 2015. С. 101-105.

6. Короткий А.А., Иванов Б.Ф., Хальфин М.Н., Егельская Е.В., Каланчуков И.А. Методика проведения ускоренных усталостных испытаний канатной проволоки // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2019. №2. С.181-186.

### References

1. Federalnye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh obektov, na kotorykh ispolzuyutsya podemnye sooruzheniya». Utv. prikazom Federalnoy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru 26.11.2020 № 461 (In Russian)

2. Federalnye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti passazhirskikh kanatnykh dorog i funikulerov». Utv. prikazom Federalnoy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru 13.11.2020 № 441 (In Russian)

3. RD ROSEK 012-97. Kanaty stalnye. Kontrol i normy brakovki. 52 p (In Russian)

4. Halfin M.N., Korotkij A.A., Ivanov B.F., Papirnyak V.P. Kranovye kanaty. Novocherkassk, 2015. 127 p. (In Russian)

5. Ivanov B.F., Halfin M.N., Logvinov A.S., Vlasov D.V. Ob uskorennykh ispytaniyakh kanatnoy provoloki. Podemno-transportnye i stroitelnye sistemy: nauka i innovacii: mezhvuz. sbornik nauch. trudov. Novocherkassk, Lik, 2015. Pp. 101-105 (In Russian)

6. Korotkij A.A., Ivanov B.F., Halfin M.N., Egel'skaya E.V., Kalanchukov I.A. Metodika provedeniya uskorennykh ustalostnykh ispytaniy kanatnoj provoloki. Nauchno-tehnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta, 2019, No. 2, pp. 181-186 (In Russian)

7. Kortkij A.A., Panfilov A.V., Marchenko E.V. Stoykost nesushche-tyagovogo kanata passa-zhirskoj podvesnoj kanatnoj dorogi. Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Tekhnicheskie nauki, 2018, No. 2, pp. 66-70/ (In Russian)



7. Короткий А.А., Панфилов А.В., Марченко Э.В. Стойкость несущего каната пассажирской подвесной канатной дороги // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2018. № 2(198). С. 66-70.

8. Короткий А.А., Марченко Э.В., Панфилов А.В. Технические причины обрывов проволок несущего каната на пассажирской подвесной канатной дороге // Безопасность техногенных и природных систем. 2017. № 1. С. 18-25.

9. Хальфин М.Н., Сорокина Е.В., Иванов Б.Ф. Кручение и волнистость несущих закрытых канатов подвесных канатных дорог. Новочеркасск: Набл, 2004. 117 с.

10. Короткий А.А., Иванов Б.Ф., Панфилов А.В., Егельская Е.В. Оценка квалификаций персонала наземных транспортно-технологических машин и комплексов по промышленной безопасности. Ростов на Дону: ДГТУ, 2019. 175 с.

11. Логвинов А.С., Короткий А.А. Пассажирские одноканатные дороги. Устройство и эксплуатация. Ростов на Дону: ДГТУ, 2016. 210 с.

12. Lei Peng, Zhi-Qiang Feng, Pierre Joli, Jian-hua Liu, Yang-jing Zhou. Automatic contact detection between rope fibers // Computers and Structures. 2019. №218. P. 82–93. DOI: 10.1016/j.compstruc.2019.03.010.

13. Shiwei Liu, Yanhua Sun, Xiaoyuan Jiang, Yihua K. Comparison and analysis of multiple signal processing methods in steel wire rope defect detection by hall sensor // Measurement. 2021. Vol.171. 108768. DOI:10.1016/j.measurement.2020.108768

14. Yongbo Guo, Dekun Zhang, Xuehui Yang, Cunao Feng, Shirong Ge. Experimental research on effect of wire rope transverse vibration on friction transmission stability in a friction hoisting system // Tribology International. 2017. Vol. 115. P. 233–245. DOI: 10.1016/j.triboint.2017.05.033.

15. Yanchun Ni, Qiwei Zhang, Rongya Xin. Magnetic flux detection and identification of bridge cable metal area loss damage // Measurement. 2021. Vol. 167. 108443. DOI:10.1016/j.measurement.2020.108443

16. Collinia L., Degasperib F. MRT detec-

8. Korotkij A.A., Marchenko E.V., Panfilov A.V. Tekhnicheskie prichiny obryvov provolok nesushche-tyagovogo kanata na passazhirskoj podvesnoj kanatnoj doroge. *Bezopasnost tekhnogennyh i prirodnyh sistem*, 2017, No. 1, pp. 18-25. (In Russian)

9. Halfin, M.N. *Kruchenie i volnistost nesushchih zakrytykh kanatov podvesnykh kanat-nykh dorog*. Novocheckassk, Nabla, 2004. 117 p. (In Russian)

10. Korotkij A.A., Ivanov B.F., Panfilov A.V., Egel'skaya E.V. *Otsenka kvalifikatsiy personala nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov po promyshlennoj bezopasnosti*. Rostov on Don, DGTU, 2019. 175 p (In Russian)

11. Logvinov A.S., Korotkij A.A. *Passazhirskie odnokanatnye dorogi. Ustrojstvo i ekspluatatsiya*. Rostov on Don, DGTU, 2016. 210 p. (In Russian)

12. Lei Peng, Zhi-Qiang Feng, Pierre Joli, Jian-hua Liu, Yang-jing Zhou Automatic contact detection between rope fibers. *Computers and Structures*, 2019, Vol.218, pp. 82–93 DOI: 10.1016/j.compstruc.2019.03.010.

13. Shiwei Liu, Yanhua Sun, Xiaoyuan Jiang, Yihua K. Comparison and analysis of multiple signal processing methods in steel wire rope defect detection by hall sensor. *Measurement*, 2021, Vol.171, 108768, DOI: 10.1016/j.measurement.2020.108768.

14. Yongbo Guo, Dekun Zhang, Xuehui Yang, Cunao Feng, Shirong Ge. Experimental research on effect of wire rope transverse vibration on friction transmission stability in a friction hoisting system. *Tribology International*, 2017, Vol.115, pp. 233–245. DOI: 10.1016/j.triboint.2017.05.033.

15. Yanchun Ni, Qiwei Zhang, Rongya Xin. Magnetic flux detection and identification of bridge cable metal area loss damage. *Measurement*, 2021, Vol. 167. 108443. DOI: 10.1016/j.measurement.2020.108443.

16. Collinia L., Degasperib F. MRT detection of fretting fatigue cracks in a cableway locked coil rope. *Case Studies in Nondestructive Testing and Evaluation*, 2014, No. 2, pp. 64–70. DOI:10.1016/j.csndt.2014.09.001.

17. Neslušana M., Bahleda F., Minárik P., Zgútová K., Jambor M. Non-destructive moni-

tion of fretting fatigue cracks in a cableway locked coil rope // Case Studies in Nondestructive Testing and Evaluation. 2014. № 2. P. 64–70. DOI:10.1016/j.csnedt .2014.09.001.

17. Neslušana M., Bahleda F., Minárik P., Zgútová K., Jambor M. Non-destructive monitoring of corrosion extent in steel rope wires via Barkhausen noise emission.

18. РД 03-348-00. Методические указания по магнитной дефектоскопии стальных канатов. Утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 30.03.2000 №11.

19. Патент RU №2489542, МПК D07B 1/00. Канат и способ его дефектоскопии. Опубликовано 10.08.2013.

20. Патент RU №2739815, МПК D07B 1/00. Несущий канат кольцевой подвесной канатной дороги с промежуточными опорами и способ его дефектоскопии. Опубликовано 28.12.2020. Бюл. №1.

21. Постановление Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. № 2415 «О проведении эксперимента по внедрению системы дистанционного контроля промышленной безопасности».

22. Korotky A., Ivanov V., Popov S., Marchenko J., Dontsov N. Model of forming vibration mechanochemical solid lubrication coating on surface of steel rope. // XII International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 403. DOI:10.1088/1755-1315/403/1/012116.

23. EN 12927-7. Подвесные канатные дороги для транспортировки людей. Требования безопасности. Канаты. Часть 7. Проверка, ремонт и технический уход.

24. EN 12385-8. Канаты стальные. Безопасность. Часть 8. Несущие и тяговые канаты из прядей для пассажирской канатной дороги

toring of corrosion extent in steel rope wires via Barkhausen noise emission.

18. RD 03-348-00. Metodicheskie ukazaniya po magnitnoy defektoskopii stalnykh kanatov. Utverzhdeny postanovleniem Gosgortekhnadzora Rossii 30.03.2000 No. 11 (In Russian)

19. Patent RU 2489542, MPK D07V 1/00. Kanat i sposob ego defektoskopii [The discharge device]. Published 10.08.2013. (In Russian)

20. Patent RU 2739815, MPK D07V 1/00. Nesushche-tyagovyy kanat kolcevoy podvesnoy kanatnoy dorogi s promezhutochnymi oporami i sposob ego defektoskopii [The discharge device]. Published 12.2020. (In Russian)

21. Postanovlenie Pravitelstva RF 31.12.2020, No. 2415 «O provedenii eksperimenta po vnedreniyu sistemy distancionnogo kontrolya promyshlennoj bezopasnosti».

22. Korotky A., Ivanov V., Popov S., Marchenko J., Dontsov N. Model of forming vibration mechanochemical solid lubrication coating on surface of steel rope. In: XII International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2019, Vol.403. DOI:10.1088/1755-1315/403/1/012116.

23. EN 12927-7. Podvesnye kanatnye dorogi dlya transportirovki lyudey. Trebovaniya bezopasnosti. Kanaty. Vol. 7. Proverka, remont i tekhnicheskii ukhod.

24. EN 12385-8. Kanaty stalnye. Bezopasnost. Vol. 8. Nesushchie i tyagovye kanaty iz pryadey dlya passazhirskoy kanatnoy dorogi».