

УДК (UDC) 614.862

ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ПАССАЖИРСКИХ КАНАТНЫХ ДОРОГPRINCIPLES OF SAFETY DURING OPERATION
PASSENGER CABLE CARSИванов Б.Ф., Панфилова Э.А., Егельский В.В.
Ivanov B.F., Panfilova E.A., Egelskiy V.V.Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону, Россия)
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Аннотация. Пассажирские канатные дороги занимают важное место в инфраструктуре горноклиматических зон, лыжных спортивно-туристических комплексов, а также при использовании этого вида транспорта в качестве канатного метро в крупных городах и агломерациях. В статье рассмотрены принципы обеспечения безопасности при эксплуатации пассажирских канатных дорог, основанные на оценке риска. Сформулированы процедуры оценки риска посредством сопоставления выявленных опасностей критериям приемлемого риска. Рассмотрены основные опасные факторы, влияющие на безопасность эксплуатации пассажирских канатных дорог такие как «расположение на значительной высоте подвижного состава, закрепленного на стальном канате», «движущийся на большой скорости с использованием стальных канатов подвижной состав с пассажирами» и «неквалифицированные действия персонала», для минимизации воздействия которых предложены технические, технологические и организационные мероприятия по обеспечению безопасности при эксплуатации пассажирских канатных дорог на базе использования цифровых информационных технологий.

Ключевые слова: пассажирские канатные дороги, обеспечение безопасности, оценка риска, нейронная сеть, стальные канаты, компетенции персонала.

Дата получения статьи: 13.01.2025
Дата принятия к публикации: 15.02.2025
Дата публикации: 25.03.2025

Сведения об авторах:

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.

ORCID: <https://orcid.org/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: <https://orcid.org/0000-0002-8485-5983>

Abstract. Passenger cable cars occupy an important place in the infrastructure of mountain climate zones, ski sports and tourist complexes, as well as when using this type of transport as a cable subway in large cities and agglomerations. The article discusses the principles of safety during the operation of passenger cable cars based on risk assessment. Risk assessment procedures are formulated by comparing the identified hazards to acceptable risk criteria. The main dangerous factors affecting the safety of passenger cable cars operation are considered, such as "the location of rolling stock fixed on a steel rope at a considerable height", "rolling stock with passengers moving at high speed using steel ropes" and "unskilled actions of personnel" to minimize the impact which propose technical, technological and organizational measures to ensure safety during the operation of a control panel based on the use of digital information technologies

Keywords: passenger cable cars, ensuring security, risk assessment, neural network, steel ropes, staff competencies.

Date of manuscript reception: 13.01.2025
Date of acceptance for publication: 15.02.2025
Date of publication: 25.03.2025

Authors' information:

Boris F. Ivanov - Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher at the Center for Scientific Communications at Don State Technical University,
e-mail: ivanov@ikc-mysl.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9080-5520>

Elvira A. Panfilova – Cand. Sci. (Phil.), Associate Professor of the Operation of transport systems and logistics Department at Don State Technical University,
e-mail: korotkaya_elvira@mail.ru.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8485-5983>

Егельский Владислав Витальевич – аспирант кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» ДГТУ,
e-mail: sp_5sp-6pb_97n14@mail.ru.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2425-3961>

Vladislav V. Egelskiy – graduate student of the Operation of transport systems and logistics Department at Don State Technical University,
e-mail: sp_5sp-6pb_97n14@mail.ru.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2425-3961>

1. Введение

Пассажирские канатные дороги занимают важное место в инфраструктуре горноклиматических зон, лыжных спортивно-туристических комплексов, а также при использовании этого вида транспорта в качестве канатного метро в крупных городах и агломерациях. Сегодня в Российской Федерации эксплуатируется свыше 250 пассажирских подвесных и более 600 буксировочных канатных дорог и фуникулеров.

Отличительной особенностью современных пассажирских канатных дорог является перемещение на скорости свыше 7 м/с постоянно закрепленного или отцепляемого на станциях подвижного состава, перемещающего одновременно 500 и более пассажиров с помощью каната, подвешенного на значительной высоте относительно уровня земли.

Вопрос обеспечения безопасности при эксплуатации пассажирских канатных дорог, безусловно, является важной задачей на всех этапах жизненного цикла канатных дорог – при их проектировании, монтаже, эксплуатации, ремонте, модернизации и утилизации.

В результате проведенных статистических исследований по анализу аварийности на пассажирских канатных дорогах [1] установлено, что 38 % аварий пассажирских канатных дорог являются следствием неисправности элементов и узлов оборудования, из которых половина обусловлена разрушением канатов, а 44 % аварий обусловлены ошибками и неквалифицированными действиями персонала при возникновении нештатных ситуаций, а также при проведении эвакуационных операций («человеческий фактор»).

Вероятность возникновения аварийной ситуации на пассажирских канатных дорогах на порядок меньше по сравнению с грузоподъемными кранами, подъемниками (вышками) или лифтами, в то же время несоизме-

римы возможные человеческие потери, материальный ущерб и социальный резонанс.

Принципы обеспечения безопасности при эксплуатации пассажирских канатных дорог должны основываться на оценке риска согласно [2,3], при этом процедуры оценки состоят в сопоставлении выявленных опасностей критериям приемлемого риска, выполнение идентификации опасностей, разработка технических, технологических и организационных мероприятий по обеспечению безопасности при эксплуатации пассажирских канатных дорог (в том числе на базе использования современных цифровых информационных технологий).

2. Постановка задачи

Обоснование приемлемого риска можно провести с учетом качественных и количественных критериев значимости опасности, частоты возникновения летального исхода в зависимости и вероятности ошибки персонала пассажирских канатных дорог, представленных в табл. 1 - 3 [1, 4].

Главный принцип обеспечения безопасности при эксплуатации пассажирских канатных дорог в конкретный период времени t определяется выражением:

$$[R] \geq R_i, \quad (1)$$

где $[R]$ – значение допустимого риска при возникновении опасности; R_i – текущее (расчетное) значение риска, определяемое интегральным значением технического (в процессе эксплуатации дороги), технологического (возникшего при эвакуационных операциях) и организационного (обусловленного человеческим фактором) рисков.

В системах оборудования пассажирских канатных дорог с последовательным соединением элементов значение технического риска R_i^a определяется:

$$R_i^a = 1 - P(t), \quad (2)$$

где $P_{(t)}$ – значение вероятности безотказной работы конкретного узла, определяемое выражением $P_{(t)}=P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot P_3(t) \dots P_n(t)$; где n – число элементов узла, t – время эксплуатации системы, $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$ – вероятности безотказной работы элементов узла.

При наличии резервных элементов узла значения технического риска системы вычисляются перемножением вероятностей отказа всех (основных и резервных) элементов:

$$R_i^b = \prod_1^n R_i(t) \quad (3)$$

Положение о наличии резервных элементов узла принято за основу для минимизации величины технического риска при эксплуатации пассажирских канатных дорог.

Факторами риска, влияющими также на возникновение опасных ситуаций при эксплуатации пассажирских канатных дорог являются:

- информирование пассажиров о правилах перевозки пассажиров, запрещенных действиях и их поведении в случае остановки или аварийной ситуации;
- недостаточность средств оповещения;
- неисправность основных элементов оборудования канатной дороги;
- пожароопасность и электроопасность;
- внешние воздействия.

Для исключения вышеуказанных факторов риска должны быть обеспечены следующие мероприятия:

- создание условий для соблюдения правил перевозки пассажиров и корректировка их действий;
- разработка производственных инструкций для обслуживающего персонала;
- наличие специализированных служб или профессиональных аварийно-спасательных формирований для осуществления эвакуации пассажиров;
- соблюдение сроков и объемов выполняемых работ, предусмотренных руководством по эксплуатации;
- соблюдение правил эксплуатации и обслуживания персоналом, аттестованным в установленном порядке и отвечающим ква-

лификационным требованиям соответствующих профессиональных стандартов.

К основным опасным факторам, влияющим на безопасность эксплуатации пассажирских канатных дорог относятся:

- «расположение на значительной высоте подвижного состава, закрепленного на стальном канате»;
- «движущийся на большой скорости с использованием стальных канатов подвижной состав с пассажирами» и «неквалифицированные действия персонала» (рис. 1).

3. Разработанные модели и методы

Минимизация фактора риска «движущийся на большой скорости с использованием стальных канатов подвижной состав с пассажирами» может быть обеспечена решением вопроса обеспечения непрерывного дистанционного автоматизированного мониторинга состояния стальных канатов.

Оценка опасных факторов подтвердила важность обеспечения своевременного непрерывного и достоверного контроля технического состояния стальных канатов в процессе эксплуатации, связанного с ограниченными когнитивными возможностями зрительного восприятия человека («человеческий фактор»), который в ряде случаев не может своевременно объективно обнаружить и классифицировать конкретный дефект каната, способствующий его разрушению и аварии на пассажирских канатных дорогах.

После анализа существующих методов контроля был предложен способ и устройство для контроля стальных канатов пассажирских канатных дорог, позволяющие в непрерывном автоматическом режиме осуществлять его дистанционный контроль технического состояния на базе средств видеофиксации дефектов на поверхности по длине каната с обработкой информации методами машинного зрения и оценкой риска возможной аварии в цветовой гамме, выведенной на мобильное приложение [5, 6].

Испытания программно-аппаратного комплекса визуально-измерительного контроля стальных канатов, проведенные в ре-

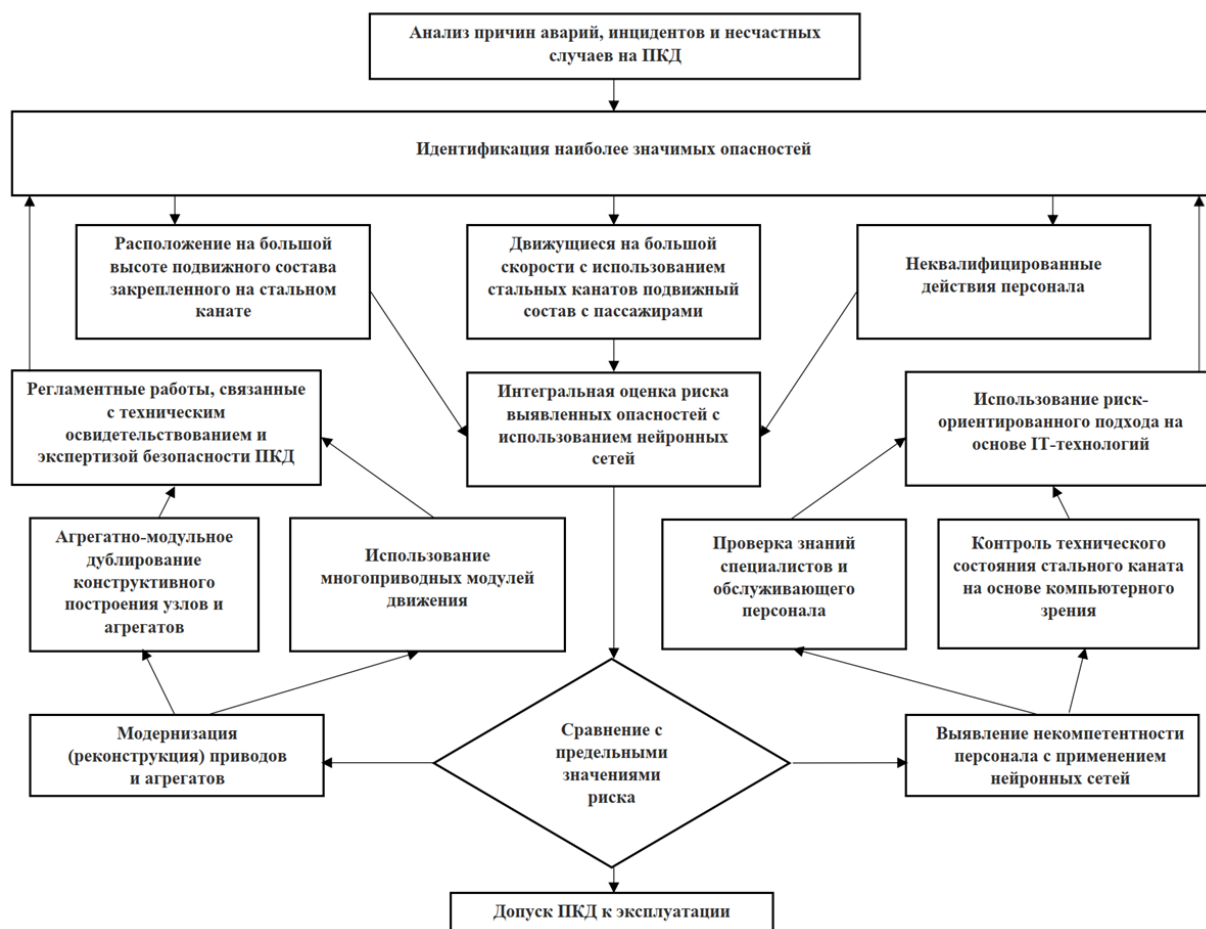


Рис. 1. Функциональная схема принципов обеспечения безопасности при эксплуатации пассажирских канатных дорог

альных условиях эксплуатации пассажирской канатной дороги «Роза Хутор» подтвердили эффективность контроля стальных канатов при использовании данного способа (опытные образцы аппаратной части комплекса показан на рис. 2 а, б).

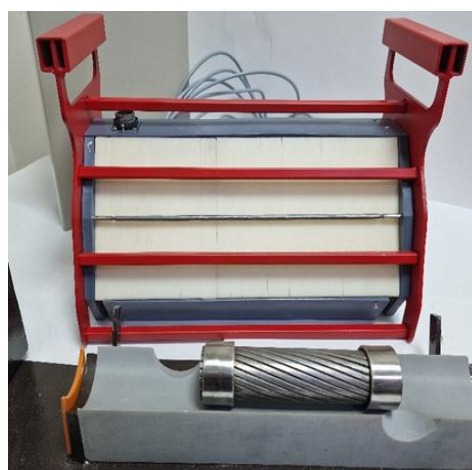
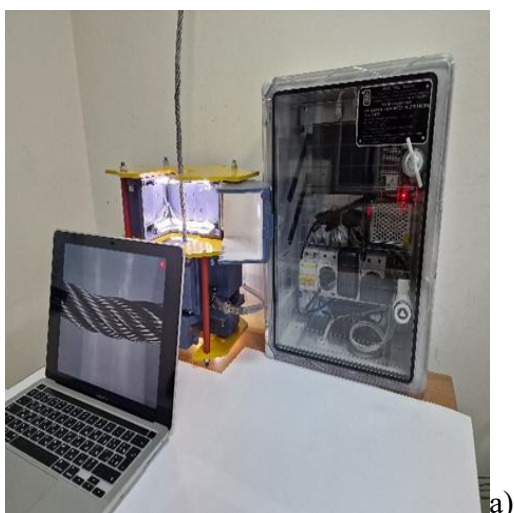


Рис. 2. Опытные образцы аппаратной части

Опасный фактор «расположение на значительной высоте подвижного состава, закрепленного на стальном канате» может проявиться как в процессе выполнения обслуживающим персоналом трудовых действий

вий, предусмотренных соответствующими производственными инструкциями, так и при проведении эвакуационных мероприятий пассажиров с подвижного состава.

Снижение уровня воздействия данного фактора при любом виде отказа или аварийной ситуации осуществляется доставкой пассажиров на конечные станции применением систем резервирования ответственных элементов, узлов и агрегатов пассажирских канатных дорог, использованием резервирования основного привода дороги группой дискретных приводных двигателей (рис. 3), расположенных на промежуточных станциях или линейных опорах [7]. Использование дискретных приводных двигателей имеет ряд технических преимуществ, что, при прочих равных условиях, позволяет увеличить длину транспортирования подвижного состава, уменьшить диаметр несущего каната, его вес и увеличить скорость, а, главное, значительно снижает риски для пассажиров и персонала при проведении спасательных операций.

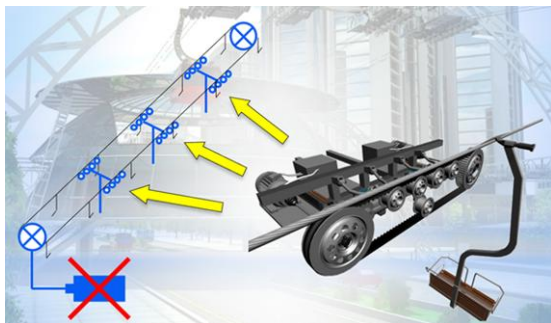


Рис. 3. Схема дискретного привода

Для минимизации фактора «неквалифицированные действия персонала» предлагается система оценки квалификации персонала пассажирских канатных дорог с использованием нейросетевых технологий, позволяющая выявить его профессиональную некомпетентность, занятого на работах, требующих повышенного внимания, высокой ответственности и быстрой реакции при принятии решений, а также недостаточные знания и умения при эксплуатации пассажирских канатных дорог.

Использование новых систем и конструкций пассажирских канатных дорог регламен-

тирует необходимость повышения уровня компетентности персонала на основе профессиональных стандартов, систематизацией и обновлением трудовых действий, знаний, умений и практических навыков, которые реализуются через специализированные центры оценки квалификации для проведения профессиональных экзаменов персонала, занятого в процессе эксплуатации пассажирских канатных дорог.

Важным звеном в деятельности экспертной комиссии специализированного на пассажирских канатных дорог центров оценки квалификации является установление связи между недостаточным уровнем умений, знаний, готовности к выполнению необходимых трудовых действий и риском аварийной ситуации, вызванным принятием ошибочных решений соискателя.

Обработка результатов профессионального экзамена персонала пассажирских канатных дорог с использованием видеозаписи и обработкой нейронными сетями (рис. 4) оказалась необходима не только для комиссии при установлении компетентности соискателей, но и для уведомления администрации организаций, эксплуатирующих пассажирские канатные дороги о возможности и характере дальнейшего использования этих сотрудников в процессе эксплуатации канатной дороги [8].

На рис. 4 представлена функциональная схема нейронной сети, предназначенная для определения связи между результатами некомпетентности экзаменуемого и вероятностью возникновения аварии на пассажирских канатных дорогах.

Предлагаемая система оценки квалификации персонала представляет собой комплекс организационных мероприятий по обеспечению безопасности и минимизации организационных рисков при эксплуатации пассажирских канатных дорог. (рис. 5).

5. Заключение

В связи с развитием пассажирских канатных дорог в туристическо-спортивных комплексах, а также перспективой широкого внедрения их в городской среде мегаполисов

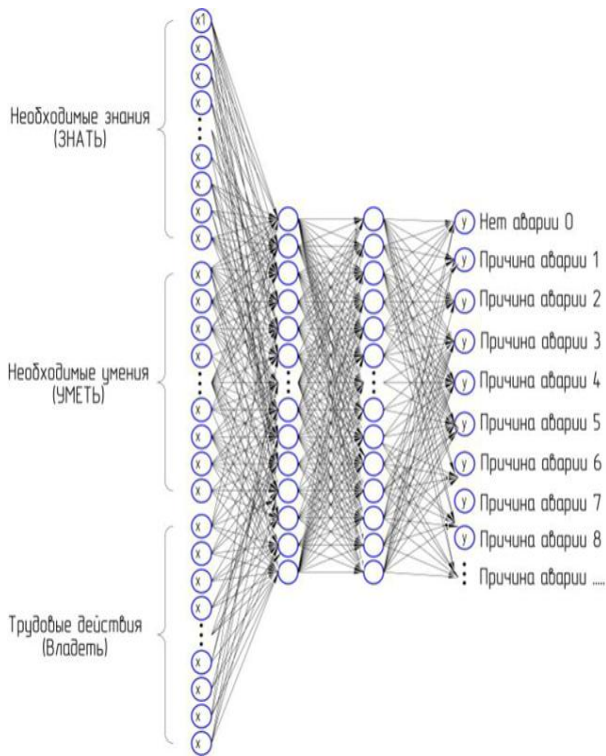


Рис. 4. Функциональная схема нейронной сети, применяемая при проведении профессионального экзамена.

особую важность играет обеспечение безопасности при эксплуатации.

Оценка опасных факторов при эксплуатации пассажирских канатных дорог подтвердила важность обеспечения безопасности, эффективность которой может быть многократно увеличена за счет применения современных информационных систем, в том числе резервирования, методов машинного зрения и нейронных сетей.

Применение систем резервирования ответственных элементов, узлов и агрегатов пассажирских канатных дорог, а также замены основного привода дороги группой дискретных приводных движителей, расположенных на промежуточных станциях или линейных опорах, позволит увеличить длину трассы дороги, уменьшить диаметр и вес несущего тягового каната, обеспечить постоянное резервирование, увеличить скорость перемещения подвижного состава, в следствие чего будут значительно снижены риски для пассажиров и персонала пассажирских канатных дорог при проведении спасательных операций.

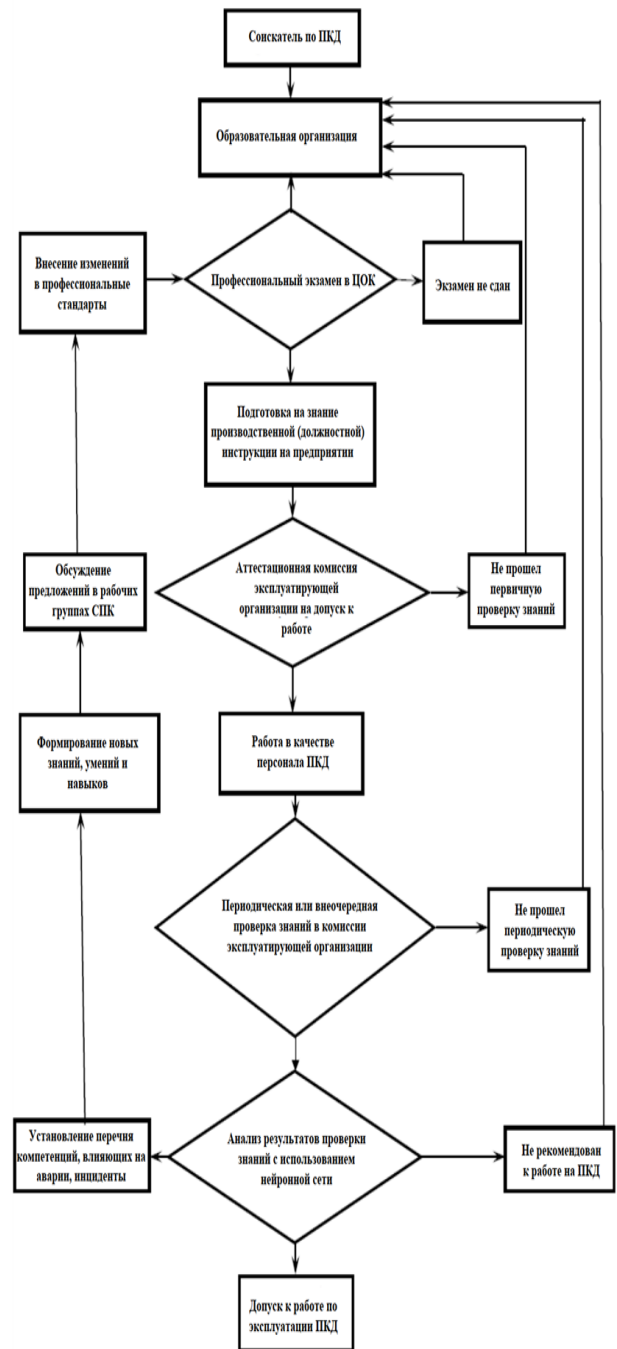


Рис. 5. Система организационных мероприятий по обеспечению безопасности при эксплуатации пассажирских канатных дорог

Для своевременного непрерывного и достоверного контроля технического состояния стальных канатов предлагается использование методы видеоаналитики, которые позволяют осуществлять идентификацию и классификацию конкретного дефекта стального

каната дистанционно. Эффективность предлагаемого способа контроля подтверждена испытанием программно-аппаратного комплекса визуально-измерительного контроля стальных канатов в реальных условиях эксплуатации канатной дороги «Роза Хутор».

В целях минимизации фактора «неквалифицированные действия персонала» предлагается система оценки квалификации персонала пассажирских канатных дорог с использованием нейросетевых технологий, позволяющая выявлять профессиональную некомпетентность персонала, занятого на работах, требующих повышенного внимания, высо-

кой ответственности и быстрой реакции при принятии решений, а также недостаточные знания и умения при эксплуатации пассажирских канатных дорог.

Предлагаемые системы и методы обеспечения безопасности являются современными с точки зрения цифровых информационных технологий и могут быть применимы, в том числе, для иных производственных сред, где осуществляется эксплуатация опасных производственных объектов, что будет являться предметом исследования авторами в будущем.

Список литературы

1. Панфилов А.В. Методология обеспечения безопасности труда персонала при перевозке пассажиров машинами на канатной тяге: автореф. дисс. ... доктора техн. наук. Ростов-на-Дону, 2024. 40 с.
2. ГОСТ 33855-2016 «Обоснование безопасности оборудования».
3. ГОСТ Р 5424-2010 «Безопасность машин и оборудования. Оценка риска».
4. Рекомендации по формированию, утверждению и ведению Перечня потенциально опасных объектов (утв. МЧС России 22 марта 2022 г. № 43-1622-11).
5. Патент 2775348 Российская Федерация, МПК Д07В 1/00, В66В 7/12, G05В 99/00. Способ визуально-измерительного контроля стального каната / Короткий А.А., Панфилов А.В., Юсупов А.Р.: № 2021107842, заявл. 23.03.2021; опубл. 29.06.2022, Бюл. № 19
6. Панфилов А.В., Короткий А.А., Иванов Б.Ф., Юсупов А.Р. Контроль канатов при эксплуатации машин с канатной тягой // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2022. № 4. С. 330-338.
7. Короткий А.А., Панфилов А.В. Канатные дороги нового поколения как элемент пассажирской транспортной инфраструктуры горного кластера Сочи-2014 // Безопасность труда в промышленности. 2014. № 6.
8. Николаев Н.Н., Панфилов А.В., Хван

References

1. Panfilov A.V. *Metodologia obespechenya bezopasnosti truda personala pri perevozke passazhirov mashinami na kanatnoy tyage* [Methodology of ensuring the safety of personnel during passenger transportation by cable cars]. Rostov-on-Don, 2024. (In Russian)
2. GOST R 33855-2016 «Justification of equipment safety». (In Russian)
3. GOST R 5424-2010 «Safety of machinery and equipment. Risk assessment». (In Russian)
4. Recommendations on the formation, approval and maintenance of a List of potentially Dangerous objects No. 43-1622-11 (approved by the Ministry of Emergency Situations of Russia on March 22, 2022). (In Russian)
5. Patent RU 2775348. *Sposob vizualno-izmeritelnogo kontroliy stalnogo Kanata* [A method of visual and measuring control of a steel rope]. Korotkiy A.A., Panfilov A.V., Yusupov A.R. Declared 23.03.2021 Published 29.06.2022. (In Russian)
6. Panfilov A.V., Korotkiy A.A., Ivanov B.F., Yusupov A.R. Control of ropes during the operation of machines with rope traction. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2022, No. 4, pp. 330-338. (In Russian)
7. Korotkiy A.A., Panfilov A.V. New generation cable cars as an element of the passenger transport infrastructure of the Sochi mountain cluster -2014. *Occupational safety in in-*

Р.В., Короткий А.А. Оценка возможных аварий канатных дорог по компетенциям работников с использованием нейронных сетей // *Научно-технический вестник Брянского государственного университета*. 2023. № 1. С. 79-86.

9. Егельский В.В., Николаев Н.Н., Егельская Е.В., Короткий А.А. Влияние компетенций специалистов грузоподъемных кранов на вероятность возникновения аварийных ситуаций // *Безопасность техногенных и природных систем*. 2023. № 2. С. 70-79.

10. Программа по автоматическому обнаружению и классификации дефектов геометрии стальных канатов / А.В. Панфилов, Р.М. Синецкий, М.М. Гавриков, А.А. Короткий, Э.А. Панфилова, Е.Б. Попов. - Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2024618691. Зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 16.04.2024.

dustry, 2014, No. 6. pp. 38-41 (In Russian)

8. Nikolaev N.N., Panfilov A.V., Hvan R.V., Korotkiy A.A. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2023, No. 1, pp. 79-86. (In Russian)

9. Egelskiy V.V., Nikolaev N.N., Egelskaya E.V., Korotkiy A.A. The influence of the competencies of lifting crane specialists on the likelihood of emergency situations. *Safety of man-made and natural systems*, 2023, No. 2. pp. 70-79 (In Russian)

10. Panfilov A.V., Sinetskiy R.M., Gavrikov M.M., Korotkiy A.A., Panfilova E.A., Popov E.B. *Programma po avtomaticheskomu obnarugeniui i klassifikacii defektov geometrii stalnih kanatov* [A program for automatic detection and classification of defects in the geometry of steel ropes]. No. 2024618691, 2024. (In Russian)