

Определение критериев оценки воздействия неорганических кислот на синтетические веревки для повышения безопасности работ на высоте

© В. В. Василенко^{1✉}, Г. Д. Леликов¹, Т. А. Овчинникова², Д. А. Корольченко¹

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26)

² ООО "БАСК" (Россия, 129085, г. Москва, ул. Годовикова, 9, стр. 1)

РЕЗЮМЕ

Введение. Необходимость проведения данного исследования обусловлена часто возникающим в промышленном высотном секторе и спорте воздействием на веревки химических реагентов и отсутствием в широком доступе информации об изменении прочности веревок после такого воздействия.

Цели и задачи. Задача настоящей работы состоит в получении экспериментальных данных по снижению прочности веревок на разрыв после воздействия растворов различных кислот, а также в определении критериев оценки воздействия кислот на веревки в целях повышения безопасности людей, работающих с веревками на высоте в промышленности и спорте.

Методы. Для этой цели исследовалось влияние растворов серной, соляной и фосфорной кислот (как наиболее часто встречающихся на практике в спортивной и производственной сферах) на статические полиамидные веревки (как наиболее широко используемые средства индивидуальной защиты). Методы исследования включали в себя обработку испытуемых образцов кислотой в течение 30 с и 1 ч, последующую выдержку в нормальных климатических условиях и испытания статической нагрузкой.

Результаты. В ходе исследования выделены следующие критерии тактильного обнаружения поврежденного участка: увеличение жесткости веревки; повышение твердости на участках воздействия; липкая поверхность оплетки. Наиболее сложными с точки зрения визуального обнаружения воздействия кислот оказались веревки, состоящие из разных материалов в оплетке и сердечнике: если оплетка более инертна к воздействию кислоты, чем сердечник, она маскирует повреждения сердечника. Так, образец с полиэфирной оплеткой практически не имел визуальных и тактильных отличий от нового после воздействия H_2SO_4 в концентрации 45 % в течение 30 с, при этом остаточная прочность составила 46,8 %. Кроме того, определены характерные особенности разрыва веревок, поврежденных кислотой: частичное вытягивание прядей сердечника; отделение оплетки от сердечника; вытягивание отдельных прядей сердечника.

Выводы. В целом, хотя все рассмотренные растворы кислот оказывали негативное влияние на прочность образцов, не всякое воздействие можно легко обнаружить. Таким образом, результаты позволяют сделать вывод о необходимости не только тщательного инспекционного контроля, но и знания полной истории эксплуатации. Представленные результаты помогут сформировать образовательный материал для аварийно-спасательных служб и экспертных комиссий, а также повысить компетенции профильных специалистов, отвечающих за безопасность и охрану труда в различных организациях.

Ключевые слова: полиамидная веревка; химическое повреждение; спелеология; альпинизм; веревочный доступ.

Для цитирования: Василенко В. В., Леликов Г. Д., Овчинникова Т. А., Корольченко Д. А. Определение критериев оценки воздействия неорганических кислот на синтетические веревки для повышения безопасности работ на высоте // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 6. — С. 35–51. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.35-51.

✉ Василий Владимирович Василенко, e-mail: ppe_mgsu@mail.ru

Determination of criteria for assessing the effect of inorganic acids on synthetic ropes in order to improve the safety of high-altitude works

© Vasilii V. Vasilenko^{1✉}, Georgiy D. Lelikov¹,
Tatyana A. Ovchinnikova², Dmitriy A. Korolchenko¹

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

² BASK LLC (Godovikova St., 9, bld. 1, Moscow, 129085, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. The relevance of this work is due to the frequent occurrences of various chemical substances affecting ropes in sport and in the industry of high-altitude works, as well as due to the lack of open-access information on changes in the rope tensile strength under effect of chemicals.

Aims and purposes. The aim of this work is to improve the safety practices in the usage of ropes both in sport and in industry by assessing the effect of acid solutions on the rope tensile strength, and by providing recommendations for pre-usage visual inspection procedures so that to detect ropes exposed to acids.

Methods. We study the influence of sulfuric acid, hydrochloric acid, and phosphoric acid, as substances widespread in sport and industry, on static polyamide rope, the type of rope used commonly as personal protective equipment. The methods used involve measuring the breaking strength of the ropes after either 30 sec and 1 hr of exposure to different concentrations of these acids. In addition, photographs of ruptures are provided, so that safety specialists be able to detect future causes of rope failures.

Results. The results of the tests conducted show the main markers of the effects of acids on the samples to be the following: increase in the stiffness of the rope in relation to parts not exposed to the acid; increase in the hardness in the areas of exposure, as a result of sintering of individual fibers; sticky surface of the sheath, in the cases when partial dissolution of the sheath takes place.

Conclusion. Though all acid solutions tested have negative impact on rope strength, not all are easy to detect. Particularly deceiving can be ropes with polyether sheath, in which the latter, being less sensitive to acids, may camouflage the damage to inner fibers, while after 30 sec of exposure to 45 % H_2SO_4 such damage leads to decrease in the tensile strength down to 46,8 % of its original strength. Thus, we conclude that the only reliable way to protect oneself from a rope failure is to know the history of the rope in an entire manner.

Keywords: polyamide rope; chemical damage; speleology; mountaineering; rope access.

For citation: V. V. Vasilenko, G. D. Lelikov, T. A. Ovchinnikova, D. A. Korolchenko. Determination of criteria for assessing the effect of inorganic acids on synthetic ropes in order to improve the safety of high-altitude works. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 6, pp. 35–51 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.35-51.

✉ Vasiliy Vasilevich Vasilenko, e-mail: ppe_mgsu@mail.ru

Введение

Применение веревки (каната) в качестве компонента, обеспечивающего безопасность человека, известно еще с первых восхождений в Альпах в XVIII в. На протяжении более двух веков ее конструкция менялась, синтетическое сырье замещало органическое, способы и сферы применения расширялись. В итоге веревка прочно вошла в спортивные и промышленные сферы как основной компонент, обеспечивающий безопасность пользователя.

По типу веревки подразделяются на крученые и плетеные. Крученые веревки (рис. 1) состоят из нескольких (чаще всего трех) скрученных прядей.

Такие веревки имеют низкую стоимость, на них тяжело вязать промежуточные узлы, но зато удобно делать концевые петли (огоны) или сращивать концы веревок (сплесни). Кроме того, этот тип веревок склонен к раскручиванию, поэтому концы должны быть фиксированы.

Плетеные веревки состоят из прядей, переплетенных между собой (рис. 2). Эту категорию можно разделить на две большие подкатегории — с сердечником и без него. Такие веревки характеризуются кратностью переплетаемых прядей. Чем больше в веревке переплетаемых прядей, тем она мягче, но ее износостойкость при этом падает. Внутри веревок без сердечника образуются полости, и чем больше в ней прядей, тем более заметны полости. Веревки, имеющие сердечник и оплетку, получили наибольшее распространение в спорте и промышленном до-ступе, так как оплетка выполняет защитную функ-

цию по отношению к сердечнику, который, в свою очередь, несет на себе основную нагрузку. Бывают веревки двойного плетения, в которых и оплетка, и сердечник плетеные, а также веревки с параллельными кручеными прядями в сердечнике. Последние получили наиболее широкое распространение в спорте и промышленности. Оплетка в таких веревках, как правило, 24-, 32- и 48-прядная и прочность нитей используется наиболее эффективно.



Рис. 1. Крученая веревка / Fig. 1. Twisted rope

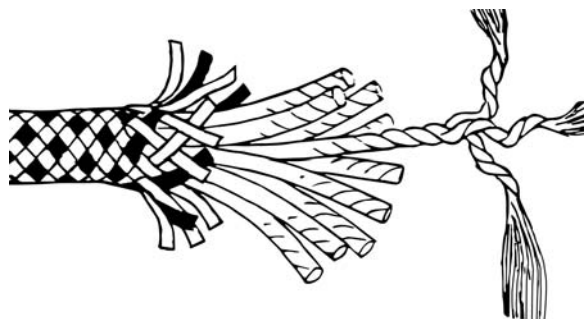


Рис. 2. Плетеная веревка с сердечником
Fig. 2. A kernmantle rope

Веревки с сердечником делятся на два основных типа — статические и динамические. Основная особенность статических веревок заключается в малом растяжении под действием нагрузок, поэтому их применяют преимущественно в зафиксированном состоянии в качестве опоры при перемещении. Важным свойством динамических веревок является способность к амортизации и гашению энергии падения [1], что делает их основным компонентом, обеспечивающим безопасность в спортивной деятельности в ситуациях, когда возможно падение человека. В промышленности данную функцию веревок заменили специально разработанные амортизаторы рывка [2, 3], поэтому там применение динамических веревок является очень большой редкостью.

В настоящее время веревки изготавливают из синтетических материалов [4–6], в основном из полиамида, реже из полиэфира. Этот материал в большей степени износоустойчив, меньше реагирует на кислоты, превосходит полиамид по тугоплавкости, но более грубый. В связи с этим часто прибегают к комбинации этих материалов: оплетку выполняют из полиэфира, а сердечник — из полиамида, что позволяет повысить износоустойчивость веревки с сохранением эластичных свойств. Встречаются веревки, изготовленные из полипропилена; зачастую они имеют хозяйственно-бытовое назначение. Преимущество таких изделий состоит в слабом растяжении, высокой статичности и легкости. При этом у веревок из полипропилена имеется и ряд недостатков, например низкая тугоплавкость и устойчивость к истиранию. Наиболее прочное сырье, применяемое для плетения веревок, — высокомолекулярный полиэтилен и арамид. Высокомолекулярный полиэтилен обладает высокой статической прочностью и легкостью, а арамид — еще и очень высокой тугоплавкостью (~500 °C).

Назовем некоторые отличительные особенности веревок:

- *полиамидные* веревки имеют наибольшее распространение как в России, так и в мире. Обладают высокими прочностными характеристиками и относительно небольшим весом, хорошо тянутся; благодаря своим качествам наиболее часто применяются для обеспечения безопасности. Из недостатков можно выделить слабую устойчивость к кислотам, поглощение влаги и изменение свойств при намокании;
- *полиэфирные* веревки в России представлены слабо. Сам материал имеет более низкую способность к растяжению, чем полиамид, но более высокую устойчивость к температуре и износостойкость. Получил распространение в промышленном секторе для обеспечения безопасности пользователей. Полиэфирные веревки

имеют больший вес по сравнению с полиамидными;

- веревки из *полипропилена* нашли свое применение в хозяйственно-бытовых, вспомогательных целях; в силу высокой статичности и относительно малого веса успешно применяются в спорте, где важна легкость и отсутствие растяжения при наведении переправ через препятствия. Они имеют невысокую стоимость, больше подвержены термическим повреждениям, а также менее износостойкие, чем полиамидные веревки;
- веревки из *высокомолекулярного полиэтилена* обладают очень высокими показателями прочности и низким растяжением, малым весом, сравнимым с полипропиленом. Не впитывают влагу, имеют высокую устойчивость к ультрафиолетовому излучению и износу. Применяются в системах, требующих точных относительных перемещений, а также высокой прочности, небольшого веса (ригтинг, водный спорт, альпинизм). Из недостатков можно выделить очень высокую стоимость и низкую стойкость к повышенным температурам;
- изделия из *арамида*, как и высокомолекулярного полиэтилена, имеют очень высокую прочность и малое растяжение, но в отличие от него способны выдерживать очень высокие температуры. Такие веревки используют спасатели и другие специальные службы. К минусам можно отнести очень высокую стоимость, низкую устойчивость к ультрафиолетовому излучению и износостойкость.

Некоторые характеристики веревок представлены в работах [7–10] и дополнены в табл. 1.

Можно выделить два направления использования рассмотренных выше веревок. Первое направление — это спорт (рис. 3) [11]. Как было сказано ранее, начиная со времен первых восхождений людей в Альпах и до сегодняшнего дня веревка является одним из основных компонентов обеспечения безопасности в горах. В ряде случаев она должна не только надежно удерживать человека при срыве, но и гасить часть энергии рывка, возникающего в результате падения [1], что очень важно для сохранения здоровья спортсмена. Сила рывка, приходящаяся на его тело, не должна превышать условно допустимую величину 12 кН. Все эти требования должны обеспечивать динамические веревки, регулируемые стандартом EN 892 [12]. Они применяются преимущественно в скалолазании, альпинизме, ледолазании и горном туризме, т. е. там, где есть возможность падения человека. Статические веревки, соответствующие требованиям ГОСТ EN 1891 “Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Ка-

Таблица 1. Сводная таблица сравнительных характеристик материалов для веревок**Table 1.** A comparative summary of characteristics of different rope materials

Материал Material	Плотность, г/см ³ Density, g/cm ³	Разрывная проч- ность, cN/dtex Tensile strength, cN/dtex	Температура плавления, °C Melting point, °C	Удлинение при разрыве, % Stretch to rupture, %	Устойчивость к ультрафиолету Ultraviolet resistance	Сопротивление истиранию (износостойкость) Abrasion resistance
Полиамид Polyamide	1,14	6,2–8,2	215	22–24	Средняя Medium	Средняя Medium
Полиэфир Polyether	1,38	6,2–8,4	260	10–17	Высокая High	Средняя Medium
Полипропилен Polypropylene	0,91	6,1–6,6	170	20	Низкая Low	Низкая Low
Высокомолекуляр- ный полиэтилен High-molecular- weight polyethylene	0,95	23–40	150	3,5–4	Высокая High	Высокая High
Арамид Aramid	1,4	20–35	500	2–5	Низкая Low	Низкая – средняя Low to medium

**Рис. 3.** Применение веревок в спорте**Fig. 3.** Application of ropes in sport

наты с сердечником низкого растяжения. Общие технические требования. Методы испытаний”, применяются в основном в спелеологии и спортивном туризме, а также в тех случаях, когда веревка служит опорой для человека и неподвижно закреплена.

Второе направление — это промышленная безопасность [13–16] и веревочный доступ [17]. Некогда

перекочевавшие из спорта методы проведения работ получили определенные преобразования и прочно вошли в промышленность. В частности, в электроэнергетику, где веревки применяются для доступа и эвакуации с антенно-мачтовых сооружений, вышек и т. д. На ветрогенераторах также не обойтись без грамотного использования статических веревок, по которым работники производят спуск вдоль лопастей в целях инспекции. В городской среде промышленные альпинисты выполняют работы на кровлях и фасадах зданий с использованием специального оборудования, помогающего перемещаться вдоль провешенных веревок. Заводы укомплектованы гибкими анкерными линиями [18, 19], большая часть из которых состоит из веревок с заделанными коушами, соединенными с анкерами (рис. 4).

Использование веревок для обеспечения безопасности во время производства работ регулируется рядом нормативных документов. Вербки в обязательном порядке должны проходить сертификацию на соответствие Техническому регламенту Таможенного союза, а также ГОСТ EN 1891. Статическая прочность веревок типа А не должна быть ниже 22 кН или 15 кН при завязанном узле “восьмерка”. Вербка должна выдерживать не менее пяти последовательных рывков при сбрасывании груза массой 100 кг с высоты 2 м, а также соответствовать ряду других требований (рис. 5). Контроль за их исполнением осуществляет государство.

Несмотря на то что веревка применяется как в спорте, так и в различных отраслях промышленности, она восприимчива ко многим факторам, способным нанести ей урон: порезам, термическим воздействиям, перетиранию, воздействию химических веществ. Последний стал причиной гибели в мае 2017 г. молодого спелеолога Алексея Карасева.



Рис. 4. Использование веревок как средства индивидуальной защиты от падения с высоты в промышленном доступе
Fig. 4. The usage of ropes as personal protective equipment

Место обрыва веревки было слегка окрашено в красноватый цвет без иных отчетливых признаков повреждения. Рентгенофлуоресцентный анализ показал в местах обрыва наличие серы, что свидетельствует о химическом повреждении. В связи с этим было принято решение собрать как можно больше сведений о таких повреждениях для упрощения их обнаружения при инспекции снаряжения [20, 21].

Цель настоящей работы — повышение безопасности людей, работающих с веревками на высоте в промышленности и в спорте, в частности получение экспериментальных данных по падению прочности веревок после воздействия растворов различных кислот; определение критериев оценки воздействия кислот на веревки для инспекционных материалов, которые смогли бы пополнить существующие материалы по этому вопросу, а также для повышения компетенций профильных специалистов, отвечающих за безопасность и охрану труда в различных организациях.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- разработка и апробация методик обработки испытуемых образцов исследуемыми растворами кислот;
- оценка остаточной прочности образцов после воздействия реагентов;
- сбор и анализ полученных материалов;
- составление типовых примеров повреждения участков веревок после воздействия кислот до

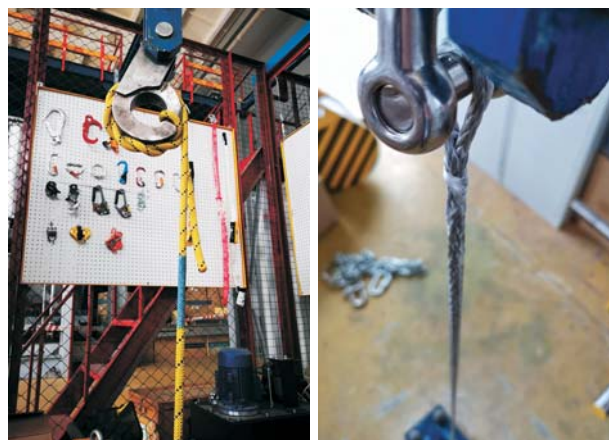


Рис. 5. Лабораторные испытания на статическую прочность веревки из полиамида (слева) и высокомолекулярного полиэтилена (справа)

Fig. 5. Tension strength laboratory tests of a polyamide rope (on the left) and of a high-molecular-weight polyethylene one (on the right)

испытания на остаточную прочность и после разрыва;

- выводы и заключения с представлением необходимых рекомендаций по итогам исследования.

Методы испытаний

Испытания проводились на образцах статических веревок трех марок диаметром 10 мм, соответствующих ГОСТ EN 1891, типа А. У всех трех марок веревок сердечник, основной конструктивный элемент, несущий нагрузку, состоял из полиамида. Взаимодействие с кислотой является наиболее разрушительной реакцией для данного типа материала. Для сравнения полученных результатов во всех испытаниях использовалась только новая веревка, из одной партии, полученная непосредственно с завода-изготовителя. Для объективного проведения испытаний и последующего анализа полученных результатов все образцы были обезличены и зашифрованы с порядковыми номерами 1, 2 и 3. В каждом испытании участвовало по три образца каждого шифра. Общее количество испытанных образцов составило 108 ед.

Для исследований использовались кислоты в концентрациях, наиболее часто встречающихся на практике как в спортивной сфере, так и в производственной:

- серная кислота H_2SO_4 — 45 и 20 % (в автомобильных аккумуляторах, в моющем средстве АТС-350);
- соляная кислота HCl — 15, 10 и 5 % (в составе всех смывок высолов со стен, в моющем средстве АТС-350);
- фосфорная кислота H_3PO_4 — 30 % (в преобразователях ржавчины).

Метод исследования можно разделить на два основных этапа: первый — обработка исследуемых образцов химическими реагентами с последующей выдержкой в нормальных климатических условиях; второй — испытания образцов статической нагрузкой после первого этапа.

Этап 1. Контрольную зону испытуемого образца длиной 25 см помещали в кювету с кислотой заданной концентрации на заданное в исследовании время. Концентрации кислот описаны выше. Время воздействия всех кислот в эксперименте составляло 30 с и 1 ч. Время выдержки 30 с было принято в качестве имитации случайного попадания химии на веревку, а 1 ч — как условное время, в течение которого веревка может находиться под воздействием реагентов во время выполнения работ. Выдержка образцов осуществлялась в помещении при температуре $(22 \pm 3)^\circ\text{C}$ и влажности 44–53 % в течение 5 сут.

Этап 2. Испытаниям подвергались все три образца каждого шифра для каждой концентрации и времени воздействия. Дополнительно была испытана контрольная группа из 9 образцов без воздействия химии. Краткая модель проведения испытаний:

- испытание на разрыв контрольных образцов каждого шифра;
- образцы каждого шифра после воздействия фосфорной кислоты концентрацией 30 %, время воздействия 30 с и 1 ч;
- образцы каждого шифра после воздействия серной кислоты концентрацией 20 и 45 %, время воздействия 30 с и 1 ч;
- образцы каждого шифра после воздействия соляной кислоты концентрацией 5, 10 и 15 %, время воздействия 30 с и 1 ч.

Испытания на статическую прочность после воздействия кислоты на образцы проводились на стенде для испытаний средств индивидуальной защиты от падения с высоты (далее — СИЗ) [22].

Блок для статических испытаний СИЗ от падения с высоты отвечает требованиям п. 4.1 ГОСТ Р 12.4.206–99 “Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Методы испытаний” (аналог EN 364) и располагается между двумя двутавровыми колоннами, которые поддерживают две двутавровые балки — верхнюю и нижнюю. На нижней балке закреплен гидроцилиндр, способный развивать тянущее усилие до 60 кН. Гидроцилиндр соединен с датчиком для измерения силы, к которому через вилку-переходник закрепляется испытательный образец. Для создания статического нагружения образец соединяют с неподвижной анкерной точкой, а гидростанция по рукавам высокого давления (РВД) в штоковую полость цилиндра подает рабочую жидкость для втягивания штока и натяжения испытательного образца.

Датчик измерения силы соединен с регистрирующим прибором, который фиксирует усилие на образце. Вилка-переходник ($d = 25$ мм) имеет съемные пальцы для соединений между элементами и для контакта между испытуемыми образцами ($d = (10 \pm 0,1)$ мм; $d = (12 \pm 0,1)$ мм). Вокруг стенда для испытаний устроено защитное ограждение для предотвращения проникновения людей в испытательную зону во время испытаний.

При проведении испытаний могут применяться различные типы насадок для захвата веревочных испытуемых образцов в соответствии с ГОСТ Р ИСО 2307–2014 “Изделия канатные. Методы определения некоторых физических и механических свойств”:

- захват типа блок;
- закрепление испытуемого образца посредством петли с обеих сторон;
- клиновидный зажим и т. п.

В рамках данного исследования испытуемый образец веревки длиной 3,0 м закреплялся на захватах типа блок. После этого блоки с закрепленным на них образцом вставлялись в статическую испытательную машину для нагружения, как описано выше. Установленный образец дополнительно закрывался прозрачным защитным чехлом из полиэтилена для предотвращения разбрызгивания реагентов. Минимальная эффективная длина испытуемого образца между блоками составляла $L_e = 1,2$ м. После установки испытуемого образца проводилось его нагружение со скоростью (250 ± 50) мм/мин. В момент разрушения образца фиксировалась разрывная нагрузка и место разрушения веревки. Фотофиксация образцов проводилась до и после испытания.

Результаты и их обсуждение

Полученные данные по разрывным нагрузкам по каждому испытанию были приведены к среднему значению в соответствии с формулой

$$F_{\text{ср}} = (F_1 + F_2 + F_3) / 3, \quad (1)$$

где $F_{\text{ср}}$ — средняя разрывная нагрузка образца каждого шифра для данной концентрации и времени воздействия, кН;

F_1, F_2, F_3 — разрывная нагрузка соответственно 1, 2 и 3-го образцов в данном испытании, кН.

Расчет остаточной прочности от полученной при испытании контрольных образцов проводился по формуле

$$A_{\text{ост}} = \frac{F_{\text{ср}}}{F_{\text{ср.к}}} \cdot 100, \quad (2)$$

где $A_{\text{ост}}$ — остаточная прочность от полученной при испытании контрольных образцов, %;

$F_{\text{ср.к}}$ — средняя разрывная нагрузка контрольных образцов, кН.

Таблица 2. Сводные данные по испытаниям после воздействия кислот (по каждой позиции было испытано по три одинаковых образца каждого шифра)

Table 2. Summary of rope tests after exposure to acids (for each of the three rope types — No. 1 and 2: 100 % polyamide rope, No. 3: polyamide core with polyether sheath — three identical samples were tested)

Наименование кислоты (концентрация, %) Acid (concentration, %)	Время воздействия Exposure time	Разрывная нагрузка образца (среднее значение), кН Breaking load of sample (mean over samples), kN				Остаточная прочность образца (среднее значение) от полученной при контрольных испытаниях, % Residual tensile strength of sample, relative to the original strength at control tests (mean over samples), %			
		№ 1 No. 1	№ 2 No. 2	№ 3 No. 3	Среднее значение Mean over types	№ 1 No. 1	№ 2 No. 2	№ 3 No. 3	Среднее значение Mean over types
H_3PO_4 (30)	30 с / 30 sec	27,19	27,15	25,03	26,46	95,73	90,5	83,3	89,8
	1 ч / 1 hr	24,75	25,78	24,24	24,92	87,13	85,9	80,6	84,6
H_2SO_4 (20)	30 с / 30 sec	19,36	21,21	19,10	19,89	68,17	70,7	63,6	67,5
	1 ч / 1 hr	19,44	20,11	17,02	18,86	68,44	67,0	56,6	64,0
H_2SO_4 (45)	30 с / 30 sec	15,50	16,63	14,08	15,41	54,58	55,4	46,8	52,3
	1 ч / 1 hr	5,88	7,12	11,28	8,09	20,69	23,7	37,5	27,3
HCl (5)	1 ч / 1 hr	26,06	26,18	27,27	26,50	91,76	87,3	90,7	89,9
HCl (10)	30 с / 30 sec	25,38	25,11	25,24	25,24	89,35	83,7	84,0	85,7
	1 ч / 1 hr	20,94	22,64	16,06	19,88	73,72	75,5	53,4	67,5
HCl (15)	30 с / 30 sec	19,04	22,04	14,08	18,39	67,04	73,5	46,9	62,5
	1 ч / 1 hr	14,02	17,32	11,64	14,33	49,36	57,7	38,7	48,6

В табл. 2 приведены сводные данные по испытаниям на основании средних значений, полученных по формуле (1). В них отражена потеря прочности для каждого шифра, а также среднее значение по трем шифрам. Образцы № 1 и 2 показали наиболее близкие значения потери прочности, чем образцы № 3. Это объясняется тем, что образцы № 1 и 2 имели одинаковый химический состав — полиамид 100 % в отличие от образцов № 3, которые имели оплетку из полиэфира, а сердечник — из полиамида. Как известно, кислотостойкость полиэфира выше, чем полиамида [5, 6]. В силу своей повышенной инертности по отношению к растворам кислот полиэфирная оболочка создала условия, при которых исследуемые кислоты оказали более сильное влияние на сердечник, чем на образцах с полиамидной оплеткой. На рис. 6 представлены гистограммы результатов исследований по остаточной прочности в зависимости от вида кислоты, ее концентрации и времени воздействия.

По результатам испытаний можно выделить наиболее негативные воздействия кислот:

- любое воздействие серной кислоты H_2SO_4 , средняя остаточная прочность находится в диапазоне от 67,5 до 27,3 %;
- воздействие соляной кислоты HCl в концентрациях 10–15 % при времени воздействия 1 ч было достаточным, чтобы средняя остаточная прочность находилась в диапазоне от 67,5 до 48,6 %.

В результате взаимодействия растворов кислот с полиамидом волокна веревки частично растворяются, нарушается их структура. Волокна веревки превращаются в отдельные аморфные, слипшиеся между собой частицы полиамида. В такой поврежденной структуре нарушается распределение нагрузки по волокнам и вследствие этого падает прочность в целом.

В рамках проведенных исследований были собраны данные о визуальном и тактильном состоянии исследуемых образцов через 5 сут после воздействия кислот (табл. 3). Основные маркеры воздействия кислот на образцы следующие:

- увеличение жесткости веревки по отношению к участкам, на которые кислота не воздействовала;
- повышение твердости на участках воздействия вследствие спекания отдельных волокон;
- липкая поверхность оплетки вследствие ее частичного растворения.

Особо хочется обратить внимание на тот факт, что после воздействия H_2SO_4 в концентрации 45 % в течение 30 с образец с полиэфирной оплеткой практически не имел визуальных и тактильных отличий от нового, при этом остаточная прочность составила 46,8 %. То же самое наблюдалось и после воздействия на образец с полиэфирной оплеткой H_2SO_4 в концентрации 45 % в течение 1 ч в отличие от полиамидной оплетки, в результате растворения которой произошло оголение сердечника (рис. 7).

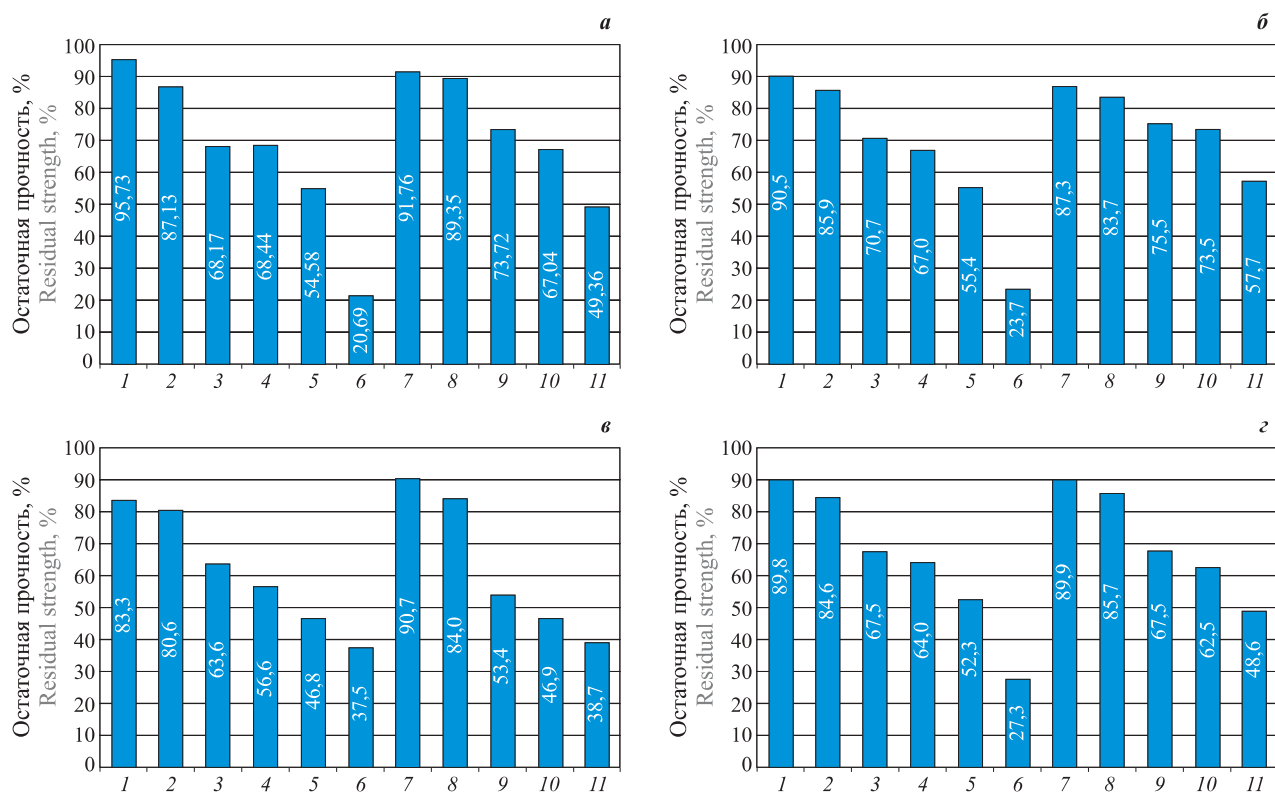


Рис. 6. Гистограммы сводных данных по испытаниям на остаточную прочность образцов № 1–3 (соответственно а–в) и ее средние значения (г) после воздействия кислот: 1 — H₃PO₄, 30 %, 30 с; 2 — то же, 1 ч; 3 — H₂SO₄, 20 %, 30 с; 4 — то же, 1 ч; 5 — H₂SO₄, 45 %, 30 с; 6 — то же, 1 ч; 7 — HCl, 5 %, 1 ч; 8 — HCl, 10 %, 30 с; 9 — HCl, 10 %, 1 ч; 10 — HCl, 15 %, 30 с; 11 — HCl, 15 %, 1 ч

Fig. 6. Histograms of summary data on tests for residual strength of samples No. 1–3 (respectively, а–в) and its average values (г) after exposure to acids: 1 — H₃PO₄, 30 %, 30 sec; 2 — the same, 1 hr; 3 — H₂SO₄, 20 %, 30 sec; 4 — the same, 1 hr; 5 — H₂SO₄, 45 %, 30 sec; 6 — the same, 1 hr; 7 — HCl, 5 %, 1 hr; 8 — HCl, 10 %, 30 sec; 9 — HCl, 10 %, 1 hr; 10 — HCl, 15 %, 30 sec; 11 — HCl, 15 %, 1 hr

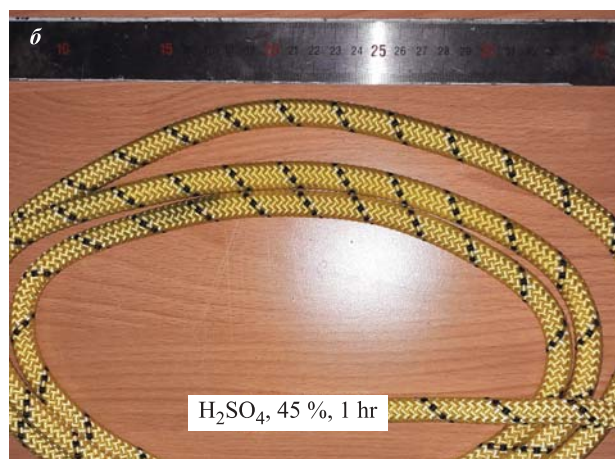


Рис. 7. Состояние оплетки образцов из полиамида с остаточной прочностью 20,69 % (а) и из полиэфира с остаточной прочностью 37,5 % (б) после воздействия H₂SO₄ с концентрацией 45 % в течение 1 ч и последующего кондиционирования в течение 5 сут в нормальных климатических условиях

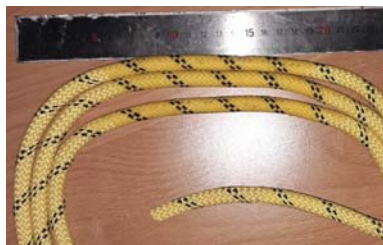
Fig. 7. Sheath condition of the samples from polyamide with a residual strength of 20.69 % (а) and from polyester with a residual strength of 37.5 % (б) after 1 hour of exposure to 45 % H₂SO₄ and 5 days of subsequent conditioning under standard climatic conditions

В табл. 4 представлен внешний вид образцов после разрыва. В ряде случаев в месте разрыва образцов из полиамида наблюдались отдельные сплишившиеся волокна. В процессе испытаний у одних образцов волокна рвались сразу, без отделения оплетки

от сердечника и без вытягивания волокон последнего, а у других — происходило отделение оплетки от сердечника и вытягивание его отдельных прядей. У некоторых образцов структура сердечника после разрыва стала похожа на вату. Характерной

Таблица 3. Визуальное и тактильное состояние образцов после воздействия кислот**Table 3.** Visual and tactile condition of samples after rope exposure

№ п/п No.	Вид образца Sample type	Состояние образца / Condition of the sample	
		Визуальное / Visual	Тактильное / Tactile
Воздействие фосфорной кислоты H ₃ PO ₄ в концентрации 30 % в течение 30 с 30 sec of exposure to phosphoric acid H ₃ PO ₄ in 30 % concentration			
1		Увеличение насыщенности цвета Increase in color saturation	Небольшое увеличение жесткости Slight increase in stiffness
Воздействие серной кислоты H ₂ SO ₄ 20 % в течение 30 с 30 sec of exposure to sulphuric acid H ₂ SO ₄ in 20 % concentration			
2		Незначительное увеличение насыщенности цвета Slight increase in color saturation	Небольшое увеличение жесткости Slight increase in stiffness
3		Незначительное увеличение насыщенности цвета Slight increase in color saturation	Небольшое увеличение жесткости Slight increase in stiffness
Воздействие серной кислоты H ₂ SO ₄ 20 % в течение 1 ч 1 hr of exposure to sulphuric acid H ₂ SO ₄ in 20 % concentration			
4		Незначительное увеличение насыщенности цвета Slight increase in color saturation	Небольшое увеличение жесткости Slight increase in stiffness
5		Незначительное увеличение насыщенности цвета Slight increase in color saturation	Небольшое увеличение жесткости Slight increase in stiffness

№ п/п No.	Вид образца Sample type	Состояние образца / Condition of the sample	
		Визуальное / Visual	Тактильное / Tactile
Воздействие серной кислоты H ₂ SO ₄ 45 % в течение 30 с 30 sec of exposure to sulphuric acid H ₂ SO ₄ in 45 % concentration			
6		Увеличение насыщенности цвета Increase in color saturation	Увеличение жесткости, образование твёрдого верхнего слоя Increase in stiffness, emergence of a rigid outer layer
7		Незначительное увеличение насы- щенности цвета Slight increase in color saturation	Небольшое увеличение жесткости Slight increase in stiffness
8		Увеличение насыщенности цвета Increase in color saturation	Значительное увеличение жесткости, образование твёрдого верхнего слоя Significant increase in stiffness, emer- gence of a rigid outer layer
Воздействие серной кислоты H ₂ SO ₄ 45 % в течение 1 ч 1 hr of exposure to sulphuric acid H ₂ SO ₄ in 45 % concentration			
9		Увеличение насыщенности цвета, потеря текстуры плетения Increase in color saturation, loss of the braiding pattern	Значительное увеличение жесткости, появление липкой основы Significant increase in stiffness, sheath becomes sticky
10		Увеличение насыщенности цвета, потеря текстуры плетения, оголе- ние сердечника Increase in color saturation, loss of the braiding pattern, exposure of the core	Значительное увеличение жесткости, появление липкой основы Significant increase in stiffness, sheath becomes sticky
11		Незначительное увеличение насы- щенности цвета Slight increase in color saturation	Увеличение жесткости Increase in stiffness

№ п/п No.	Вид образца Sample type	Состояние образца / Condition of the sample	
		Визуальное / Visual	Тактильное / Tactile
Воздействие соляной кислоты HCl 15 % в течение 30 с 30 sec of exposure to hydrochloric acid HCl in 15 % concentration			
12		Потускнение окраски оплетки, появление белых образований Fading of the sheath color, emergence of white formations	Значительное увеличение жесткости Significant increase in stiffness
13		Увеличение насыщенности цвета, появление белых образований Increase in color saturation, emergence of white formations	Значительное увеличение жесткости Significant increase in stiffness

особенностью разрыва образцов с полиэфирной оплеткой является отсутствие вытянутых из сердечника жгутов волокон, картина разрушения при этом напоминает разрыв перебитой чем-то веревки. В ряде случаев такой же характер разрыва наблюдался и у образцов с полиамидной оплеткой. При повреждениях веревки кислотой высоких концентраций (HCl 15 %, H₂SO₄ 45 %) разрыв веревки происходил с вытягиванием жгутов сердечника, т. е. при испытаниях вначале рвалась оплетка образца, потом происходило вытягивание и разрыв жгутов сердечника. При этом на поверхности веревок наблюдались максимальные разрушения оплетки. Меньшее повреждение внутренних жгутов веревки в подобных случаях мы объяснили большей плотностью кислоты, ее меньшей текучестью и, как следствие, более медленным проникновением во внутренние слои веревки.

Данные табл. 4 будут полезны при разборе аварийных ситуаций, чтобы при первой оценке в чрезвычайных ситуациях можно было отличить механическое повреждение веревки от химического.

Выводы

1. Для обеспечения безопасности при выполнении работ на высоте в производственном секторе [13–17] с использованием средств индивидуальной защиты, а также при проведении спортивных мероприятий с использованием инвентаря, защищающего спортсмена от падения с высоты [11], необходимо своевременно проводить инспекционные проверки применяемого снаряжения. Одним из ключевых ас-

пектов инспекционной проверки является непосредственный осмотр снаряжения на наличие дефектов [20, 21].

2. Веревка может быть подвергнута механическим, температурным и химическим воздействиям. Одним из самых скрытых и трудно определяемых является именно химическое повреждение веревки. Данный тип повреждения может прогрессировать во времени, ухудшая эксплуатационные характеристики веревки, что, вероятно, приведет к отказу снаряжения и возможному несчастному случаю. При этом время между попаданием химического вещества на веревку и ее отказом может быть очень значительным, вплоть до года и более. В мае 2017 г. в пещере Монастырь-Чокрак в результате обрыва веревки трагически погиб спелеолог. Первые выводы указывали на следы механического повреждения веревки, но в дальнейшем экспертизой были выявлены следы химического воздействия. Данные материалы необходимо принимать во внимание специалистам, отвечающим за безопасность проведения мероприятий на высоте как в промышленном секторе [13–17], так и в спортивном [11].

3. Основными критериями визуального контроля являются: изменение контрастности цвета поврежденного участка оплетки по сравнению с другими, неповрежденными, как в сторону увеличения, так и уменьшения; наличие белесых участков. Как показали исследования, наиболее сложным с точки зрения визуального обнаружения оказался образец с полиэфирной оплеткой, на котором воздействие кислоты практически не проявлялось.

Таблица 4. Состояние оплетки и прядей сердечника после разрыва

Table 4. The condition of sheath and core strands after rupture

№ п/п No.	Вид образца Sample type	Описание характера разрыва Description of the rupture
Фосфорная кислота H_3PO_4 , концентрация 30 %, время воздействия 30 с 30 sec of exposure to phosphoric acid H_3PO_4 in 30 % concentration		
1		Разрыв образца с полиамидной оплеткой без характерных отличий Polyamide sheath sample ruptured without any characteristic distinctions
2		Разрыв образца с полиэфирной оплеткой, отличий по сравнению с контрольными образцами не наблюдается Polyether sheath sample ruptured with no visible difference from control samples
Фосфорная кислота H_3PO_4 , концентрация 30 %, время воздействия 1 ч 1 hr of exposure to phosphoric acid H_3PO_4 in 30 % concentration		
3		Разрыв образца с полиамидной оплеткой, частичное вытягивание прядей сердечника Polyamide sheath sample ruptured; core strands got partially pulled
4		Разрыв образца с полиэфирной оплеткой, отличий по сравнению с контрольными образцами не наблюдается Polyether sheath sample ruptured with no visible difference from control samples
Серная кислота H_2SO_4 , концентрация 20 %, время воздействия 30 с 30 sec of exposure to sulphuric acid H_2SO_4 in 20 % concentration		
5		Разрыв образца с полиамидной оплеткой, отделение оплетки от сердечника Polyamide sheath sample ruptured; sheath got separated from the core

Продолжение табл. 4 / Table 4 continuation

№ п/п No.	Вид образца Sample type	Описание характера разрыва Description of the rupture
6		Разрыв образца с полиэфирной оплеткой, отличий по сравнению с контрольными образцами не наблюдается Polyether sheath sample ruptured with no visible difference from control samples
Серная кислота H_2SO_4 , концентрация 20 %, время воздействия 1 ч 1 hr of exposure to sulphuric acid H_2SO_4 in 20 % concentration		
7		Разрыв образца с полиамидной оплеткой, отделение оплетки от сердечника Polyamide sheath sample ruptured; sheath got separated from the core
8		Разрыв образца с полиэфирной оплеткой, отличий по сравнению с контрольными образцами не наблюдается Polyether sheath sample ruptured with no visible difference from control samples
Серная кислота H_2SO_4 , концентрация 45 %, время воздействия 30 с 30 sec of exposure to sulphuric acid H_2SO_4 in 45 % concentration		
9		Разрыв образца с полиамидной оплеткой, отделение оплетки от сердечника, вытягивание отдельных прядей сердечника Polyamide sheath sample ruptured; sheath got separated from the core and some of the core strands got pulled out
10		Разрыв образца с полиэфирной оплеткой, отличий по сравнению с контрольными образцами не наблюдается Polyether sheath sample ruptured with no visible difference from control samples

Продолжение табл. 4 / Table 4 continuation

№ п/п No.	Вид образца Sample type	Описание характера разрыва Description of the rupture
Серная кислота H_2SO_4 , концентрация 45 %, время воздействия 1 ч 1 hr of exposure to sulphuric acid H_2SO_4 in 45 % concentration		
11		Разрыв образца с полиамидной оплеткой, отделение оплетки от сердечника, вытягивание отдельных прядей сердечника, частичное слипание прядей Polyamide sheath sample ruptured; sheath got separated from the core, some of the core strands got pulled out, and strands got partially stuck together
12		Разрыв образца с полиэфирной оплеткой, отличий по сравнению с контрольными образцами не наблюдается Polyether sheath sample ruptured with no visible difference from control samples
Соляная кислота HCl, концентрация 15 %, время воздействия 1 ч 1 hr of exposure to hydrochloric acid HCl in 15 % concentration		
13		Разрыв образца с полиамидной оплеткой, частичное вытягивание прядей сердечника, структура сердечника похожа на вату Polyamide sheath sample ruptured; sheath got separated from the core, core strands got partially pulled, and the core structure started resembling wadding
14		Разрыв образца с полиэфирной оплеткой, отличий по сравнению с контрольными образцами не наблюдается Polyether sheath sample ruptured with no visible difference from control samples

Окончание табл. 4 / End of Table 4

№ п/п No.	Вид образца Sample type	Описание характера разрыва Description of the rupture
Соляная кислота HCl, концентрация 15 %, время воздействия 30 с 30 sec of exposure to hydrochloric acid HCl in 15 % concentration		
15		Разрыв образца с полиамидной оплеткой, частичное вытягивание прядей сердечника Polyamide sheath sample ruptured; core strands got partially pulled
16		Разрыв образца с полиэфирной оплеткой, отличий по сравнению с контрольными образцами не наблюдается Polyether sheath sample ruptured with no visible difference from control samples

На рис. 7 наглядно показано сравнение двух образцов с оплетками из разных материалов при воздействии на них H_2SO_4 в концентрации 45 % в течение 1 ч с указанием остаточной прочности. В итоге можно заключить, что веревки, состоящие из разных материалов в оплетке и сердечнике, особенно если оплетка более инертна к воздействию химического вещества, чем сердечник, представляют собой скрытую опасность и требуют тщательного инспекционного контроля [20, 21] с полной историей эксплуатации и соответствующей оценкой рисков [23].

4. Основными критериями тактильного контроля поврежденного участка являются:

- увеличение жесткости веревки по сравнению с участками, на которые не было воздействия кислоты;
- повышение твердости на участках воздействия;
- липкая поверхность оплетки.

5. Приведенные в табл. 4 данные помогут специалистам профильных направлений при аварийно-спасательных работах предварительно оценить причины отказа веревки. Если состояния волокон сердечника после разрыва объединить по основным группам, то можно выделить следующие:

- частичное вытягивание прядей сердечника;
- отделение оплетки от сердечника;
- вытягивание отдельных прядей сердечника.

В некоторых случаях к каждой из вышеуказанных групп можно добавить изменение цвета прядей сердечника.

Резюмируя вышеизложенное, можно отметить несколько основных наблюдений.

Во всех вариантах воздействия на образцы кислоты оказывали на них негативное влияние, однако не всякое влияние можно легко обнаружить. Особо негативное влияние на образцы веревки оказала H_2SO_4 и наиболее высокие концентрации HCl .

Полиэфирная оплетка в образце № 3 оказалась своеобразной маскировкой для обнаружения химического повреждения из-за своей повышенной стойкости к растворам кислот. Кислота практически беспрепятственно проникала к сердечнику, воздействуя непосредственно на него, что в большей мере отразилось на величине остаточной прочности по срав-

нению с другими образцами. В силу вышеуказанных причин визуальное состояние оплетки, даже при воздействии 45 %-ной концентрации H_2SO_4 , было намного лучше, чем у других образцов, оплетка которых при такой концентрации разрушалась еще до испытаний на прочность. В связи с этим необходимо, во-первых, более внимательно проводить инспекционную проверку подобных технологических решений, а во-вторых, исследовать веревки именно из нескольких материалов в конструкции в различных сочетаниях.

В рамках следующих испытаний по подобным направлениям необходимо сформировать типовые состояния разрушенных образцов и их волокон, что поможет создать образовательный материал для аварийно-спасательных служб и экспертных комиссий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Manin L., Mahfoudh J., Richard M., Jauffres D. Modeling the climber fall arrest dynamics // Proceedings of the ASME 2005 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Vol. 6: 5th International Conference on Multibody Systems, Nonlinear Dynamics, and Control, Parts A, B, and C (Long Beach, California, USA. September 24–28, 2005). — New York : ASME, 2005. — P. 1077–1084. DOI: 10.1115/DETC2005-84131.
2. Goh Y. M. Empirical investigation of the average deployment force of personal fall-arrest energy absorbers // Journal of Construction Engineering and Management. — 2015. — Vol. 141, Issue 1. — Article Number 04014059. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000910.
3. Goh Y. M., Love P. E. D. Adequacy of personal fall arrest energy absorbers in relation to heavy workers // Safety Science. — 2010. — Vol. 48, Issue 6. — P. 747–754. DOI: 10.1016/j.ssci.2010.02.020.
4. Гаврилова О. Е., Никитина Л. Л., Канаева Н. С., Геркина О. Ю. Обзор современных полимерных материалов, применяемых в производствах легкой промышленности // Вестник Технологического университета. — 2015. — Т. 18, № 1. — С. 276–278.
5. McLaren A. J. Design and performance of ropes for climbing and sailing // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part L: Journal of Materials: Design and Applications. — 2006. — Vol. 220, No. 1. — P. 1–12. DOI: 10.1243/14644207JMDA75.
6. Бодин А. М. Сравнение свойств материалов для производства веревок, применяемых в аварийно-спасательных работах // Инновации природообустройства и защиты окружающей среды : материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием (г. Саратов, 23–24 января 2019 г.). — Саратов : Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова, 2019. — С. 350–353.
7. Baszczyński K. Dynamic strength tests for low elongation lanyards // International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. — 2007. — Vol. 13, No. 1. — P. 39–48. DOI: 10.1080/10803548.2007.11076707.
8. Baszczyński K., Jachowicz M. Effect of mechanical factors on the protective parameters of textile elements in personal equipment protecting against falls from a height // Fibres and Textiles in Eastern Europe. — 2011. — Vol. 88, No. 5. — P. 117–124.
9. Nikonov A., Saprunov I., Zupančič B., Emri I. Influence of moisture on functional properties of climbing ropes // International Journal of Impact Engineering. — 2011. — Vol. 38, No. 11. — P. 900–909. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2011.06.003.
10. Baszczyński K. Effect of repeated loading on textile rope and webbing characteristics in personal equipment protecting against falls from a height // Fibres and Textiles in Eastern Europe. — 2015. — Vol. 23, No. 4(112). — P. 110–118. DOI: 10.5604/12303666.1152741.
11. Schad R. Analysis of climbing accidents // Accident Analysis & Prevention. — 2000. — Vol. 32, Issue 3. — P. 391–396. DOI: 10.1016/S0001-4575(99)00026-3.
12. EN 892:2012+A1:2016. Mountaineering equipment — Dynamic mountaineering ropes — Safety requirements and test methods. — Brussels, Belgium : BSI, 2012. — 32 p.

13. Manu P., Ankrah N., Proverbs D., Suresh S. An approach for determining the extent of contribution of construction project features to accident causation // *Safety Science*. — 2010. — Vol. 48, Issue 6. — P. 687–692. DOI: 10.1016/j.ssci.2010.03.001.
14. Nadhim E. A., Hon C., Xia B., Stewart I., Fang D. Falls from height in the construction industry: A critical review of the scientific literature // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. — 2016. — Vol. 13, Issue 7. — P. 638. DOI: 10.3390/ijerph13070638.
15. Proto A. R., Mazzocchi F., Cossio F., Bortolini L., Pascuzzi S., Caruso L., Diano M., Zimbalatti G. A survey on occupational injuries in works on trees in Italy // *Procedia — Social and Behavioral Sciences*. — 2016. — Vol. 223. — P. 435–441. DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.05.266.
16. Lestari R. I., Guo B. H. W., Goh Y. M. Causes, solutions, and adoption barriers of falls from roofs in the Singapore construction industry // *Journal of Construction Engineering and Management*. — 2019. — Vol. 145, Issue 5. — Article Number 04019027. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001649.
17. Lim W. C., Tashrif S. M., Goh Y. M., Koh S. J. A. Validation of the energy balance approach for design of vertical lifeline systems // *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. — 2019. — 13 p. DOI: 10.1080/10803548.2019.1616948.
18. Galy B., Lan A. Horizontal lifelines — review of regulations and simple design method considering anchorage rigidity // *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. — 2018. — Vol. 24, Issue 1. — P. 135–148. DOI: 10.1080/10803548.2017.1300444.
19. Goh Y. M., Wang Q. Investigating the adequacy of horizontal lifeline system design through case studies from Singapore // *Journal of Construction Engineering and Management*. — 2015. — Vol. 141, Issue 7. — Article Number 04015017. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000989.
20. Vasilenko V., Korolchenko D., Pham Nam Thanh. Definition of the inspection criteria for personal protective equipment (for work at heights) on example of full body harnesses // *MATEC Web of Conferences*. — 2018. — Vol. 251. — Article Number 02042. — 9 p. DOI: 10.1051/mateconf/201825102042.
21. Карасёв В. К., Суханов А. С. Обслуживание и периодический осмотр СИЗ от падения с высоты // *Безопасность и охрана труда*. — 2016. — № 4(69). — С. 24–26.
22. Ступаков А. А., Капырин П. Д., Леликов Г. Д., Семенов П. А., Василенко В. В. Стенды для исследований средств индивидуальной защиты от падения человека с высоты // *Вестник МГСУ*. — 2015. — № 8. — С. 130–139.
23. Goh Y. M., Goh W. M. Investigating the effectiveness of fall prevention plan and success factors for program-based safety interventions // *Safety Science*. — 2016. — Vol. 87. — P. 186–194. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.04.007.

REFERENCES

1. L. Manin, J. Mahfoudh, M. Richard, D. Jauffres. Modeling the climber fall arrest dynamics. In: *Proceedings of the ASME 2005 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*. Vol. 6: 5th International Conference on Multibody Systems, Nonlinear Dynamics, and Control, Parts A, B, and C (Long Beach, California, USA, September 24–28, 2005). New York, ASME, 2005, pp. 1077–1084. DOI: 10.1115/DETC2005-84131.
2. Y. M. Goh. Empirical investigation of the average deployment force of personal fall-arrest energy absorbers. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2015, vol. 141, issue 1, article number 04014059. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000910.
3. Y. M. Goh, P. E. D. Love. Adequacy of personal fall arrest energy absorbers in relation to heavy workers. *Safety Science*, 2010, vol. 48, issue 6, pp. 747–754. DOI: 10.1016/j.ssci.2010.02.020.
4. O. E. Gavrilova, L. L. Nikitina, N. S. Kanaeva, O. Yu. Gerkina. A review on to-date polymer materials utilized in light industry. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta / Herald of Technological University*, 2015, vol. 18, no. 1, pp. 276–278 (in Russian).
5. A. J. McLaren. Design and performance of ropes for climbing and sailing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 2006, vol. 220, no. 1, pp. 1–12. DOI: 10.1243/14644207JMDA75.
6. A. M. Bodin. Comparison of material properties of ropes utilized in emergency and rescue works. In: *Innovatsii prirodoobustroystva i zashchity okruzhayushchey sredy [Environmental innovation and environmental protection]*. Proceedings of the 1st National Scientific and Practical Conference with International Participation (Saratov, January 23–24, 2019). Saratov, Saratov State Vavilov Agrarian University Publ., 2019, pp. 350–353 (in Russian).

7. K. Baszczyński. Dynamic strength tests for low elongation lanyards. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 2007, vol. 13, no. 1, pp. 39–48. DOI: 10.1080/10803548.2007.11076707.
8. K. Baszczyński, M. Jachowicz. Effect of mechanical factors on the protective parameters of textile elements in personal equipment protecting against falls from a height. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 2011, vol. 88, no. 5, pp. 117–124.
9. A. Nikonov, I. Saprunov, B. Zupančič, I. Emri. Influence of moisture on functional properties of climbing ropes. *International Journal of Impact Engineering*, 2011, vol. 38, no. 11, pp. 900–909. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2011.06.003.
10. K. Baszczyński. Effect of repeated loading on textile rope and webbing characteristics in personal equipment protecting against falls from a height. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 2015, vol. 23, no. 4(112), pp. 110–118. DOI: 10.5604/12303666.1152741.
11. R. Schad. Analysis of climbing accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 2000, vol. 32, issue 3, pp. 391–396. DOI: 10.1016/S0001-4575(99)00026-3.
12. EN 892:2012+A1:2016. *Mountaineering equipment — Dynamic mountaineering ropes — Safety requirements and test methods*. Brussels, Belgium, BSI, 2012. 32 p.
13. P. Manu, N. Ankrah, D. Proverbs, S. Suresh. An approach for determining the extent of contribution of construction project features to accident causation. *Safety Science*, 2010, vol. 48, issue 6, pp. 687–692. DOI: 10.1016/j.ssci.2010.03.001.
14. E. A. Nadhim, C. Hon, B. Xia, I. Stewart, D. Fang. Falls from height in the construction industry: A critical review of the scientific literature. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2016, vol. 13, issue 7, p. 638. DOI: 10.3390/ijerph13070638.
15. A. R. Proto, F. Mazzocchi, F. Cossio, L. Bortolini, S. Pascuzzi, L. Caruso, M. Diano, G. Zimbalatti. A survey on occupational injuries in works on trees in Italy. *Procedia — Social and Behavioral Sciences*, 2016, vol. 223, pp. 435–441. DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.05.266.
16. R. I. Lestari, B. H. W. Guo, Y. M. Goh. Causes, solutions, and adoption barriers of falls from roofs in the Singapore construction industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2019, vol. 145, issue 5, article number 04019027. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001649.
17. W. C. Lim, S. M. Tashrif, Y. M. Goh, S. J. A. Koh. Validation of the energy balance approach for design of vertical lifeline systems. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 2019. 13 p. DOI: 10.1080/10803548.2019.1616948.
18. B. Galy, A. Lan. Horizontal lifelines — review of regulations and simple design method considering anchorage rigidity. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 2018, vol. 24, issue 1, pp. 135–148. DOI: 10.1080/10803548.2017.1300444.
19. Y. M. Goh, Q. Wang. Investigating the adequacy of horizontal lifeline system design through case studies from Singapore. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2015, vol. 141, issue 7, article number 04015017. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000989.
20. V. Vasilenko, D. Korolchenko, Nam Thanh Pham. Definition of the inspection criteria for personal protective equipment (for work at heights) on example of full body harnesses. *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 251, article number 02042. 9 p. DOI: 10.1051/mateconf/201825102042.
21. V. K. Karasev, A. S. Sukhanov. Maintenance and periodic inspection of PPE against falls from height. *Bezopasnost i okhrana truda / Safety and Labor Protection*, 2016, no. 4(69), pp. 24–26 (in Russian).
22. A. A. Stupakov, P. D. Kapyrin, G. D. Lelikov, P. A. Semenov, V. V. Vasilenko. Stands for studies of personal protective equipment for people against falling from a height. *Vestnik MGSU / Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, 2015, no. 8, pp. 130–139 (in Russian).
23. Y. M. Goh, W. M. Goh. Investigating the effectiveness of fall prevention plan and success factors for program-based safety interventions. *Safety Science*, 2016, vol. 87, pp. 186–194. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.04.007.

Поступила 07.10.2019, после доработки 13.11.2019;
принята к публикации 28.11.2019

Received 7 October 2019; Received in revised form 13 November 2019;
Accepted 28 November 2019

Информация об авторах

ВАСИЛЕНКО Василий Владимирович, заведующий лабораторией Института комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-4616-0969; e-mail: ppe_mgsu@mail.ru

ЛЕЛИКОВ Георгий Дмитриевич, инженер лаборатории Института комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-3727-2109; e-mail: ppe_mgsu@mail.ru

ОВЧИННИКОВА Татьяна Алексеевна, инженер-химик-технолог, ООО «БАСК», г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-0616-2508; e-mail: taniur77@yandex.ru

КОРОЛЬЧЕНКО Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, заведующий кафедрой комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; Author ID: 55946060600; Researcher ID: E-1862-2017; ORCID: 0000-0002-2361-6428; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru

Information about the authors

Vasiliy V. VASILENKO, Head of Laboratory at Institute of Integrated Safety in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-4616-0969; e-mail: ppe_mgsu@mail.ru

Georgiy D. LELIKOV, Engineer of Laboratory at Institute of Integrated Safety in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-3727-2109; e-mail: ppe_mgsu@mail.ru

Tatyana A. OVCHINNIKOVA, Chemical Engineer, BASK LLC, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-0616-2508; e-mail: taniur77@yandex.ru

Dmitriy A. KOROLCHENKO, Cand. Sci. (Eng.), Head of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation; Author ID: 55946060600; Researcher ID: E-1862-2017; ORCID: 0000-0002-2361-6428; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru



Издательство «ПОЖНАУКА»



Г. И. Смелков, В. Н. Черкасов,
В. Н. Веревкин, В. А. Пехотиков, А. И. Рябиков

ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ во взрывопожароопасных зонах

Справочное пособие

Приводятся новые, отвечающие современной нормативной базе, требования по классификации горючих смесей и пожаровзрывоопасных зон; рекомендации по выбору и использованию оборудования, включая кабельные изделия во взрывопожароопасных зонах.

Издание предназначено для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием и монтажом электроустановок, работников пожарной охраны и специалистов широкого профиля в качестве учебного пособия для подготовки и повышения квалификации в области пожаровзрывобезопасности электроустановок.

121352, г. Москва, а/я 26; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru