

УДК 614.846

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТРЕХКОЛЕННОЙ ПОЖАРНОЙ ЛЕСТНИЦЫ

Кулаковский Б.Л., к.т.н., доцент, Маханько В.И., Максимов П.В., Кошево С.А.
Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь
e-mail: Dexter_off@mail.ru

Выполнен анализ основных неисправностей трехколенной лестницы. Предложены рекомендации по восстановлению основных узлов лестницы. Исследованы нагрузки, действующие на тросовую передачу. Предложены мероприятия по повышению долговечности лестницы.

The analysis of the main defects of the three-throw step-ladder has been done. The recommendations for restoring of main joints of the ladder have been given. The load on the cable transmission has been studied. The activities for the rise of operating life of the step-ladder have been proposed.

(Поступила в редакцию 23 декабря 2009 г.)

Из трех видов ручных пожарных лестниц, находящихся на вооружении подразделений по чрезвычайным ситуациям, наиболее часто применяемой для подъема спасателей на верхние этажи зданий, спасения людей и тушения пожаров является трехколенная лестница. Она наиболее сложна по конструкции, и в процессе длительной эксплуатации отдельные ее узлы и детали выходят из строя, создавая опасность падения людей и травматизма.

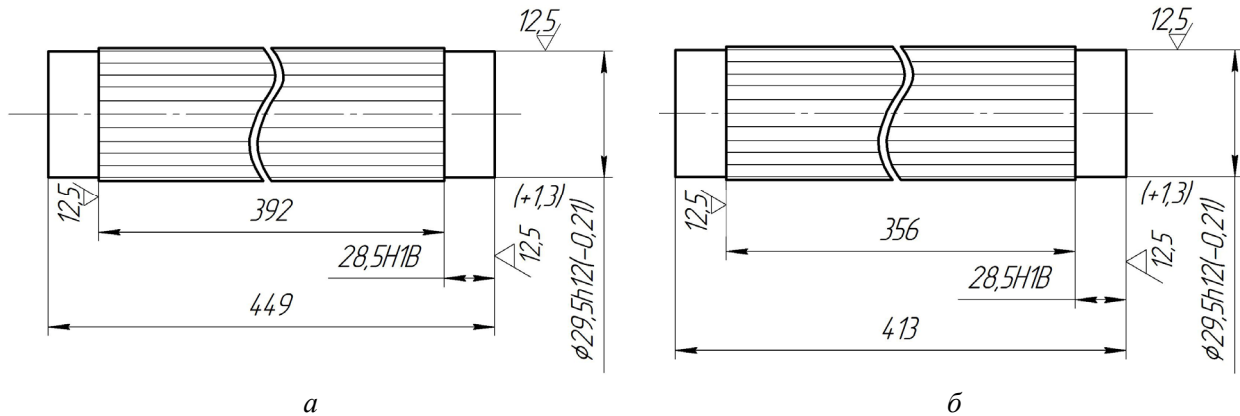
Анализ технического состояния этих лестниц, находящихся на пожарных автоцистернах, показывает, что все они в той или иной степени имеют неисправности и эксплуатируются с нарушением требований ТУ РБ 101114857.041-2001. К таким неисправностям следует отнести: проворачивание, деформацию и поломку ступеней, деформацию тетивы, ослабленные крепления или срыв упоров, недостаточно четкое срабатывание механизма останова, заедания при выдвигании или сдвигании лестницы, ненадежное крепление узлов тросовой передачи, обеспечивающей выдвижение и фиксацию верхнего колена в выдвинутом положении. Все указанные неисправности в зависимости от их сложности можно устранить в условиях Учреждения «Производственно-технический центр» МЧС Республики Беларусь или подразделения, на вооружении которого находится трехколенная лестница.

Возможное проворачивание ступени в гнездах тетивы лестницы представляет большую опасность травматизма. В этом случае наиболее приемлемым является способ восстановления этого узла электросваркой с торцевой части ступени. Если ступень прослаблена и перемещается вдоль продольной оси, то необходимо ее зафиксировать в посадочных гнездах с обеспечением линейных размеров ширины колена, после чего заварить снаружи с последующей слесарной обработкой сварочного шва. Более серьезная неисправность – смятие или поломка ступени. Чаще всего эта неисправность возникает в среднем колене из-за наличия ударных нагрузок, полученных от крюка механизма останова, а в верхнем колене – в крепежном узле тросовой передачи.

Линейные размеры ширины колен лестницы позволяют использовать ступени нижнего колена списанной лестницы для восстановления ступеней среднего и верхнего колен, а ступени среднего колена – для восстановления ступеней верхнего колена. Технологический процесс восстановления и замены ступени следующий. Первоначально необходимо снять вышедшую из строя ступень из посадочных гнезд тетивы лестницы. Для этого высверливается вальц торца ступени с одной наружной стороны тетивы. С другой стороны тетивы торец ступени высверливается сверлом диаметром 31,5 мм на глубину до заплечиков посадочного

гнезда. Затем через отверстие в тетиве со стороны снятого вальца оправкой с диаметром 31 мм аккуратно выбивается и снимается ступень.

В такой же последовательности снимается одна из пригодных для замены ступень нижнего колена списанной лестницы. Затем эта ступень протачивается с обеих сторон на токарном станке до получения размеров, указанных на рис. 1.



a – среднее колено; *б* – верхнее колено

Рисунок 1 – Ступень после восстановления

Изготовленную ступень необходимо установить в отверстия тетивы. Для этого ступень нагревается в термической печи до 400 °С и после остывания с одного ее конца с внутренней стороны делается высадка с увеличением наружного диаметра до 31,5 мм и на длину 28,5 мм. Ступень устанавливается в соответствующие посадочные гнезда тетивы и фиксируется. Поскольку с одной стороны ступени в посадочном гнезде с диаметром 31,5 мм отсутствует заплечик ограничения посадки, его необходимо выполнить электросваркой с внутренней стороны тетивы, после чего завальцевать торцы ступени.

Вышедшие из строя ступени нижнего колена можно изготовить составными с усилением стыка установкой с внутренней стороны дополнительной втулки из алюминиевого сплава с обеспечением прессовой посадки, затем заварить по предварительно подготовленной разделке. Соединения желательнее выполнять ближе к тетиве. После установки ступени она должна пройти осмотр и испытания в соответствии с требованиями ТУ РБ 101114857.041-2001.

Проверка ступеней лестницы на прочность после их восстановления осуществляется путем воздействия статической нагрузки и крутящего момента при помощи динамометра по ГОСТ 13837 с ценой деления не более 10 Н. Время приложения нагрузки не менее 1 мин. При определении усилия за номинальное показание следует принимать среднее значение по шкале при колебании стрелки. Усилие прикладывается посередине ступени. Ступень считается выдержавшей испытания, если после снятия нагрузки не произошло деформирования ступени и проворачивания ступени в тетиве. Схема проведения испытаний приведена в рис. 2.

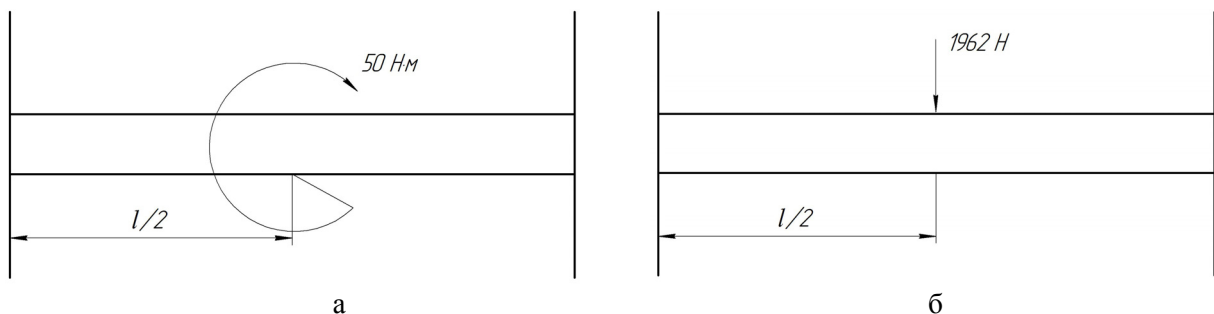


Рисунок 2 – Схема проверки ступеней лестницы на стойкость к крутящему моменту (а) и статической нагрузке (б)

Упрощенную методику проверки ступеней лестницы на проворачивание в условиях подразделений по чрезвычайным ситуациям можно предложить при выполнении ежедневного технического обслуживания (ЕТО), технического обслуживания № 1 (ТО-1). Для выполнения проверки спасатель должен двумя руками в резиновых перчатках прикладывать усилие на проворачивание и нагрузку вдоль продольной оси каждой ступени лестницы. При этом проворачивания и перемещения вдоль продольной оси не допускаются. Обнаруженные неисправности необходимо устранить вышеизложенными способами (электросваркой, вальцовкой). В случае проворачивания ступеней с кронштейнами, блоками в полках тетивы и ступенях сверлятся отверстия диаметром 5 мм с последующей клепкой на оправке. Заклепки перед применением также отжигаются при температуре 400 °С.

Часто при работе с лестницей деформируются наружные полки профиля тетивы. Такие погнутости можно легко исправить простейшим специальным приспособлением, изготовленным из стальной пластины толщиной 5–6 мм и шириной 60 мм. По размерам полки тетивы сверлится отверстие в пластине и делается прорезь, как показано на рис. 3.

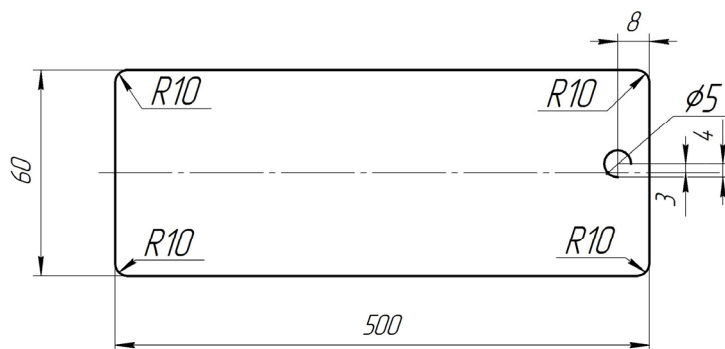


Рисунок 3 – Приспособление для восстановления полок тетивы лестницы

Предварительно снимается упор с края тетивы, требующей правки. Затем приспособление выточкой вставляется с торца этой тетивы и продвигается вдоль нее до места погнутости. Прилагая последовательно усилие на приспособление, устраняем деформацию по всей длине тетивы.

На трехколенной лестнице с внутренней стороны полок тетивы закреплены на заклепках и винтах 14 упоров, предназначенных для обеспечения прочности соединения колен, их надежного выдвигания, сдвигания. В процессе эксплуатации упоры срываются с мест крепления, отчего лестница работает с перекосами и заклиниванием колен в направляющих. Для изготовления упора применяется алюминиевый сплав 1915 (ГОСТ 4784-74) или сплав, не уступающий указанному выше в технических характеристиках с размерами согласно рис. 4.

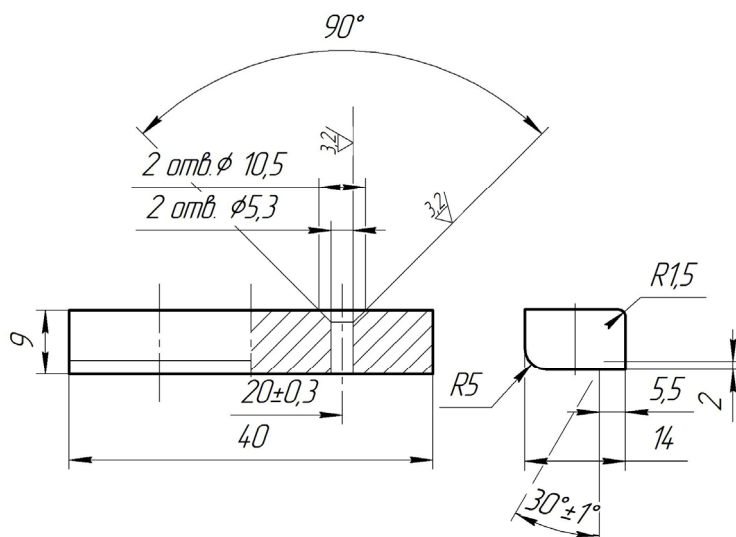
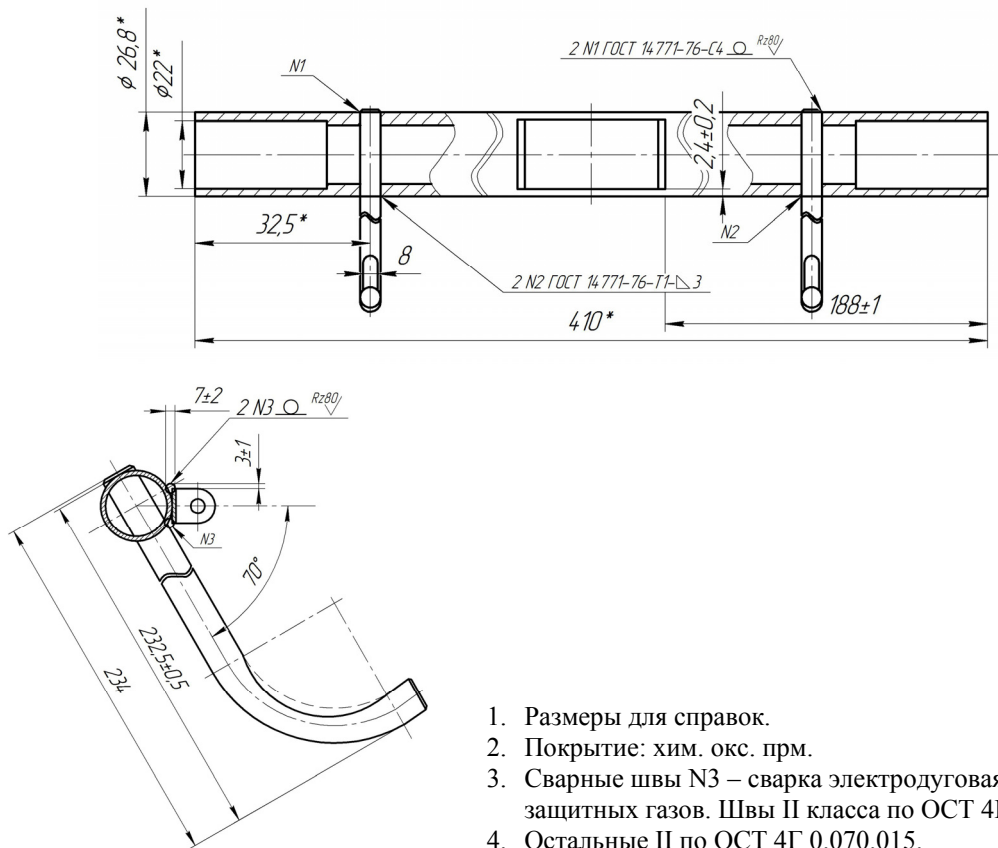


Рисунок 4 – Упор тетивы

Одним из ответственных узлов трехколенной лестницы является механизм останова. От его работы зависит четкое и надежное фиксирование процесса стопорения второго колена на необходимой высоте выдвинутой лестницы.

В лестницах прошлого выпуска крюк механизма останова выполнялся из листовой стали толщиной 4 мм. Его рабочая торцовая поверхность из-за большого удельного давления на фиксируемую ступень быстро повреждала ее. Сейчас механизм останова изготавливается с крюком из круглой стали марки СТ35 с диаметром 12 мм. Такая замена уменьшила повреждение ступени, но не в полной мере. При срабатывании механизма останова оба крюка ударяют ступень на малой площади контакта, что приводит к деформации выступающих частей профиля. Предлагается вогнутую рабочую поверхность крюка выполнить способом плоскойковки или стачивания, как показано на рис. 5. Полученная плоская поверхность шириной 8 мм существенно снизит величину удельного давления на ступень, повысит ее надежность.



1. Размеры для справок.
2. Покрытие: хим. окс. прм.
3. Сварные швы N3 – сварка электродуговая в среде защитных газов. Швы II класса по ОСТ 4Г 0.005.247-82.
4. Остальные II по ОСТ 4Г 0.070.015.

Рисунок 5 – Механизм останова с измененной рабочей поверхностью крюка

Проверка прочности механизма останова при воздействии на него статической нагрузки проводится в соответствии со схемой, приведенной на рис. 6.

Механизм считается выдержавшим испытание, если после снятия нагрузки не деформировались детали и узлы механизма останова, а его срабатывание происходит достаточно быстро и надежно. При медленном, ненадежном срабатывании механизма определяются и устраняются причины заедания подвижных сопряжений, а для усиления упругости пружины под нее устанавливаются дополнительные шайбы.

Наиболее травмоопасными являются неисправности тросовой системы механизма выдвигания. При резком выдвигании лестницы верхнее колено по инерции резко поднимается вверх с ударом в верхний ограничитель, а тросовая передача, провисая, не препятствует верхнему колену опускаться вниз с падением. В нижней точке опускания колена происходит упругий удар с воздействием на элементы тросовой передачи больших нагрузок.

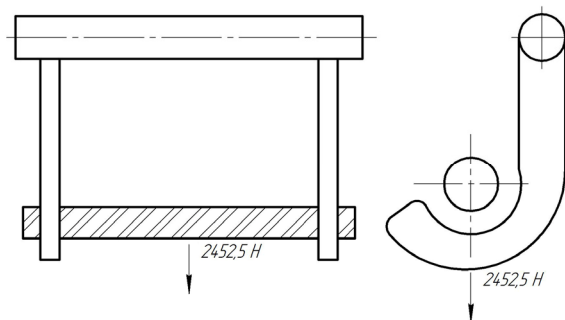


Рисунок 6 – Схема проверки прочности механизма останова при воздействии статической нагрузки

Выполним расчет по определению нагрузки, которую воспринимают крепежные узлы тросовой передачи трехколенной лестницы ЛР-3А-149 длиной 14,9 м. Определяем, что масса верхнего колена лестницы $m = 17$ кг, а падение на расстояние от ее верхнего положения до натяжения троса в наиболее неблагоприятном варианте $h = 1$ м. Принимаем, что в этот момент времени лестница находилась в вертикальном положении.

Определим скорость движения верхнего колена v_1 в момент удара его о крепежные узлы тросовой передачи по известной формуле

$$v_1 = \sqrt{2gh} = 4,43 \text{ м/с.} \quad (1)$$

Для нахождения среднего значения реакции в звеньях тросовой передачи при упругом ударе необходимо определить величину удлинения тросовой передачи от прилагаемой нагрузки.

С этой целью были проведены экспериментальные исследования на испытательном стенде (рис. 7).

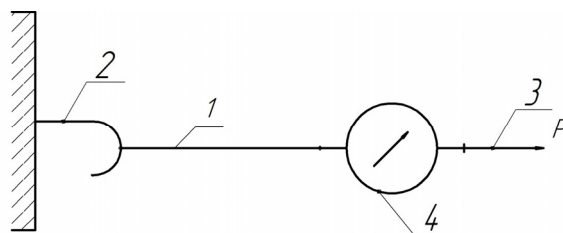


Рисунок 7 – Схема испытаний тросовой передачи

Трос 1 был снят с лестницы и закреплен одним концом через коуш к опоре 2. К другому концу троса с помощью лебедки 3 через коуш прикладывалась статическая нагрузка, определяемая динамометром 4.

Результаты экспериментального исследования показаны на рис. 8.

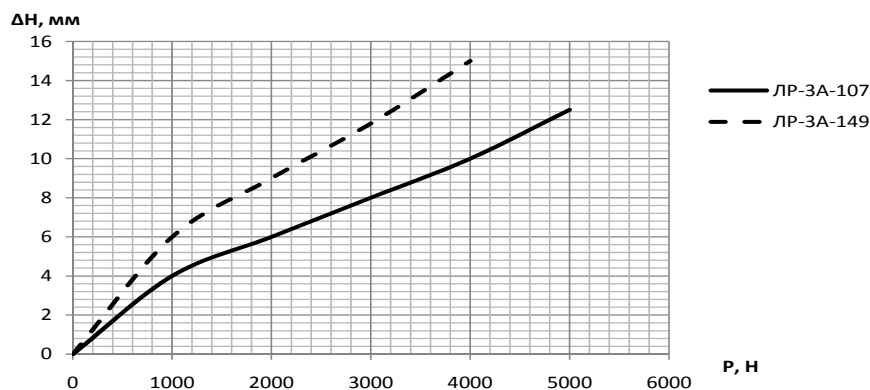


Рисунок 8 – Зависимость изменения длины троса от величины прилагаемой нагрузки

Как видно на графике, при предварительном усилии, прилагаемом к тросу (в пределах 1 000 Н), происходит его интенсивное удлинение за счет распрямления витков троса. Затем с увеличением нагрузки устанавливается линейная зависимость между упругой деформацией тросовой передачи и прилагаемой нагрузкой до предельной ее величины, равной 4 500 Н.

Поскольку согласно ТУ РБ 101114857.041-2001 испытательная нагрузка для тросовых передач составляет 3924 Н, то принимаем величину удлинения троса при этой нагрузке, которая составляет согласно результатам экспериментальных исследований 15 мм (для троса ЛР-3А-149).

Для определения среднего значения величины упругого удара на звенья тросовой передачи применим теорему об изменении кинетической энергии материальной точки в конечной форме

$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} = A, \quad (2)$$

где m – масса верхнего колена, кг;

v_0 – конечная скорость движения верхнего колена, м/с;

A – работа силы тяжести верхнего колена, Н · м.

Поскольку $v_0 = 0$, $A = mjh$ (j – замедление верхнего колена при упругом ударе). Подставив полученные значения в уравнение (2) и выполнив преобразования, определим значение замедления при упругом ударе в звеньях тросовой передачи:

$$j = \frac{v_1^2}{2h} = \frac{(4,43)^2}{2 \cdot 0,015} \approx 654 \text{ м/с}^2. \quad (3)$$

Отсюда величина силы, приложенной к тросовой передаче во время упругого удара, определяется с учетом замедления $j = 654 \text{ м/с}^2$ и массы верхнего колена 17 кг:

$$P = mj = 17 \cdot 654 = 11\,120 \text{ Н}. \quad (4)$$

Поскольку сила ударного взаимодействия превышает испытательную нагрузку, при которой было определено удлинение троса $h = 0,015$ м, выполним расчет удлинения h соответствующий нагрузке с применением графического и математического методов.

Графический метод для ЛР-3А-149 представлен на рис. 9.

Суть метода заключается в построении графика зависимости $h = mv_1^2/2P$ и значений, полученных в процессе экспериментальных исследований. Точка пересечения данных графиков и будет соответствовать искомым значениям h и P .

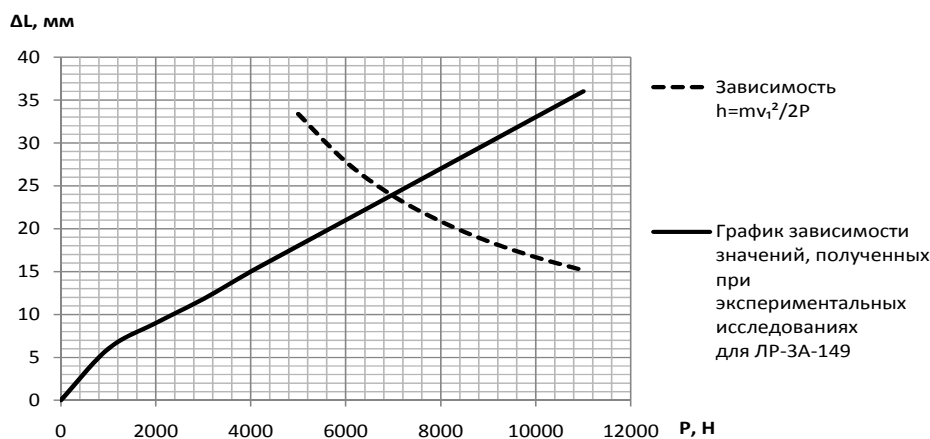


Рисунок 9 – Зависимость удлинения троса от нагрузки

Удлинение троса, соответствующего нагрузке при эксперименте, равно

$$y = 3x + 3. \quad (5)$$

Второе уравнение получаем, исходя из зависимости $h = mv_1^2/2P$. Оно будет иметь вид

$$y = \frac{166,8}{x}. \quad (6)$$

Решив систему данных уравнений, определим, что удлинение троса равно $h = 0,023\ 91$ м при нагрузке $P = 6\ 970$ Н. Замедление при опускании верхнего колена лестницы $j = 410$ м/с².

Таким образом, ударная реакция тросовой передачи превышает силу веса верхнего колена лестницы в 42 раза. С такой же силой будет восприниматься ударная нагрузка и на крепежные узлы троса.

В такой же последовательности выполним расчет по определению величины упругого удара в тросовой передаче трехколенной лестнице ЛР-3А-107, имеющей массу верхнего колена $m = 11,3$ кг.

$$h = 0,67\text{ м}; \quad v_1 = 3,62\text{ м/с}^2; \quad j = 496\text{ м/с}^2; \quad P = 5\ 605\text{ Н}.$$

На основании анализа полученных результатов можно сделать вывод, что в самых неблагоприятных условиях работы трехколенной лестницы при ее выдвигании могут создаваться такие ударные нагрузки в тросовой передаче, которые превышают нормативную нагрузку при статических испытаниях (3 924 Н).

В связи с этим необходимо внести изменения в величинах испытательной нагрузки для тросовой передачи, учитывающей действующую на нее силу упругого удара при выдвигании лестницы:

- для трехколенной лестницы ЛР-3А-107 – 5 700 Н;
- для трехколенной лестницы ЛР-3А-149 – 7 000 Н.

При выдвигании лестницы необходимо не допускать, чтобы верхнее колено перемещалось по направляющим среднего колена с провисанием тросовой передачи.

Кроме этого необходимо строго выполнять требования изготовления узлов крепления тросовой передачи.

В механизме выдвигания колен должен использоваться стальной канат марки 4,8-ГЛ-В-Н-200 ГОСТ 3081.

Заделка концов стального каната должна выполняться обжимочными втулками из первичного алюминия с переплетением, припайкой концов троса на длину не менее 50 мм и установкой коуша. Места пайки должны быть промыты и нейтрализованы. Конец стального каната во втулке должен утапливаться не менее чем на 5 мм, при этом длина места обжима должна быть не менее 30 мм. Стальной канат с заделанными концами должен выдерживать статическую нагрузку 3 924 Н в течение не менее 20 мин. Эта величина статической нагрузки пока требует корректировки с учетом полученных результатов исследований. Для уменьшения этой нагрузки необходимо выполнить конструктивные изменения крепежных узлов тросовой передачи с установкой демпферов.

Основные технические требования к трехколенным лестницам должны соответствовать ТУ РБ 101114857.041-2001. Конструкция лестницы должна обеспечивать:

- плавное, равномерное, без рывков и заеданий выдвигание и сдвигание колен лестницы;
- надежное стопорение (остановку), исключающее самопроизвольное соскальзывание колен на любой высоте, кратной шагу ступеней;
- наличие зазоров между примыкающими друг к другу поверхностями двух смежных тетив лестницы сверху и сбоку, которые должны быть не более 3 мм.

Особое внимание следует обращать на обработку нижних внутренних торцов среднего и верхнего колен, которые должны иметь скругленную форму, исключающую травматизм спасателей при подъеме по лестнице.

Основные элементы и детали лестницы должны изготавливаться:

- тетивы и ступени лестницы – из профилей, изготовленных из алюминия и алюминиевых сплавов по ГОСТ 8617, алюминиевого сплава марки не ниже 1915 по ГОСТ 4784;
- литые алюминиевые детали – из отливок ковкого чугуна марки не ниже КЧ30-6-Ф по ГОСТ 1215;
- зацепы останова и башмаки лестницы – из марки стали, по механическим свойствам не уступающей стали 20 ГОСТ 1050, пружина – из проволоки по ГОСТ 9389;
- остальные детали – из марки стали, по механическим свойствам не уступающей стали 20 по ГОСТ 1050.

Подвижные соединения механизма останова лестницы, подшипники скольжения блоков механизма выдвижения должны быть смазаны синтетическим солидолом марки пресс-солидол С по ГОСТ 4366 или смазкой «Литол-24» по ГОСТ 21150, пазы тетив, элементы тросовой передачи должны смазываться графитной смазкой.

При всех видах технического обслуживания выполняются:

- осмотр и проверка работоспособности лестницы;
- крепежные, регулировочные и смазочные работы.

При ЕТО проверяется по внешнему виду техническое состояние трехколенной лестницы. Лестница не должна иметь внешних признаков повреждений: сколов, трещин, деформаций. Следует обратить внимание на состояние тетив, ступеней, замков, наличие шплинтов на осях с блоками механизма выдвижения упоров.

Лестница считается непригодной к дальнейшей эксплуатации в случае:

- просроченной даты испытаний (испытывается 1 раз в год и после ремонта);
- механического и термического нарушения целостности оплетки (для веревки кабельного типа) или хотя бы одной пряди (для крученых веревок);
- нарушения оплетки крепления на ступенях;
- разрушения обжимочных втулок крепления тросовой передачи;
- повреждения троса (разрыва отдельных прядей);
- отсутствия шплинтовки осей блоков;
- проворачивания ступеней вокруг продольной оси;
- заклинивания тетив при выдвижении–сдвигании;
- ненадежного срабатывания механизма останова.

Заключение

1. Сравнительный анализ ручных пожарных лестниц, находящихся на вооружении подразделений по чрезвычайным ситуациям, показывает, что трехколенная лестница является самым востребованным в работе и сложным по конструкции видом пожарно-технического вооружения.

2. Проверка технического состояния трехколенных лестниц показывает, что в результате длительных сроков эксплуатации они имеют ряд неисправностей, которые приводят к нарушению требований ТУ РБ 101114857.041-2001 и создают опасность травматизма.

3. Проведенные анализ и исследования показали, что отдельные узлы трехколенной лестницы работают под большими нагрузками и требуют своевременной проверки, технического обслуживания и ремонта.

4. Предлагаемые рекомендации, своевременное восстановление отдельных деталей лестницы позволят значительно повысить ее долговечность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технические условия ТУ РБ 101114857.041-2001
2. Эксплуатация пожарной аварийно-спасательной техники / Б.Л. Кулаковский, В.И. Маханько, А.В. Кузнецов. – Минск : Печатковская школа, 2005. – 515 с.