

УДК 539.424: 621.332.33

С. А. СКОРОХОДОВ, инженер, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРУН КОНТАКТНОЙ ПОДВЕСКИ*

Выполнены экспериментальные исследования механических свойств полимерных материалов, используемых в качестве струн контактной подвески. Определена нагрузочная способность как бывших в эксплуатации струн, так и новых – полиэфирных и полиамидных.

В современных условиях в Республике Беларусь необходимо уделить большее внимание внедрению на электрифицированной железной дороге вертикальных и поддерживающих фиксаторы гибких полимерных струн.

Многие виды полимерных материалов не находят широкого применения в тяговой сети электрифицированных железных дорог из-за недостаточного количества исследований их долговечности в эксплуатационных условиях. Процесс разрушения полимера зависит как от атмосферных факторов, так и от механических воздействий, а в ряде случаев является достаточно длительным. Довольно часто возникает вопрос о правомерности проведения в лабораторных условиях испытаний, эквивалентных естественным. Задача заключается в выявлении основного или основных 2–3 факторов, разрушающих материал в эксплуатации.

На основании статистических данных за 1995–2005 гг. был проведен анализ эксплуатационной надежности основных элементов контактной подвески электрифицированных железных дорог, который показал долю повреждений подвески, приходящуюся на струны и составляющую 8,6 % (рисунок 1). Тем не менее, проблема повышения их долговечности, надежности и безопасности эксплуатации остается нерешенной.

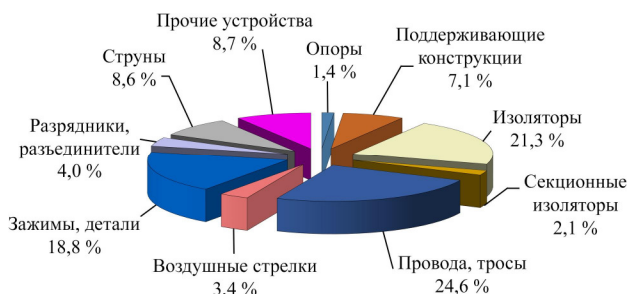


Рисунок 1 – Распределение повреждений по основным элементам контактной сети

Основными материалами, применяемыми для изготовления струн контактной подвески, являются

- проволока биметаллическая сталемедная диаметрами 4,0 или 6,0 мм;
- гибкий медный канатик марки МГГ диаметром 4,0 мм;
- полиамидный шнур (капроновый канат) диаметрами 4,0 и 6,0 мм.

Полимерная струна, по сравнению с биметаллической и медной, обладает рядом качеств, которых лишены другие материалы:

- имеет малый вес, следовательно, снижаются динамические воздействия на элементы контактной подвески, тем самым продлевается срок ее службы;
- допускает возможность точной регулировки точки подвеса контактного провода (с биметаллической звеньевой струной произвести точную регулировку затруднительно), что обеспечивает равномерное распределение жесткости подвески по всей длине;
- не требует введения дополнительных элементов в подвеску (медный канатик требует специального вида зажимов, что увеличивает время монтажа и снижает надежность).

Эксплуатация полиамидных струн (10–12 лет) на некоторых участках Белорусской железной дороги показала, что основным недостатком является старение, вызванное негативным воздействием атмосферных осадков и выхлопов тепловозов. В связи с этим возникла необходимость проведения лабораторных испытаний полимерных струн, разработки методики проведения испытаний и специального оборудования и приспособлений для их проведения.

Согласно ГОСТ 12393-77 лабораторным испытаниям на механическую прочность подвергается вся арматура контактной подвески, которая в процессе эксплуатации несет механическую нагрузку.

Самозатягивающиеся захваты клинового типа, которые применяют в существующих испытательных машинах, часто не позволяют с достаточной точностью выявить прочностные ресурсы материала, так как разрушение образцов происходит в захвате. Это объясняется тем, что одновременно с увеличением растягивающей силы возрастает боковое давление на образец, в резуль-

* Работа выполнена под руководством д. т. н. Сосновского Л. А.

тате чего нарушается структура материала в месте установки захвата, и образец преждевременно разрушается [1].

В целях устранения указанных недостатков были разработаны специальные устройства для крепления струны, имитирующие существующие контактный провод, к которому крепится струновый зажим, и несущий трос. При этом должна быть обеспечена требуемая прочность и надежность элементов приспособления, т. е. не допускается соскальзывание струны или срыв зажима. Приспособление, имитирующее несущий трос, должно иметь гладкую ровную поверхность, наличие зазубрин и заусенец на рабочей поверхности элементов приспособления не допускается. Установка струны на испытательное оборудование соответствовала реально существующим способам закрепления. Для этого на несущем тросе был использован узел «дубовая петля», для крепления на зажиме контактного провода – узел «совершенная петля». Предложенная и реализованная схема лабораторных испытаний представлена на рисунке 2. Используемые виды узлов крепления приведены на рисунке 3.

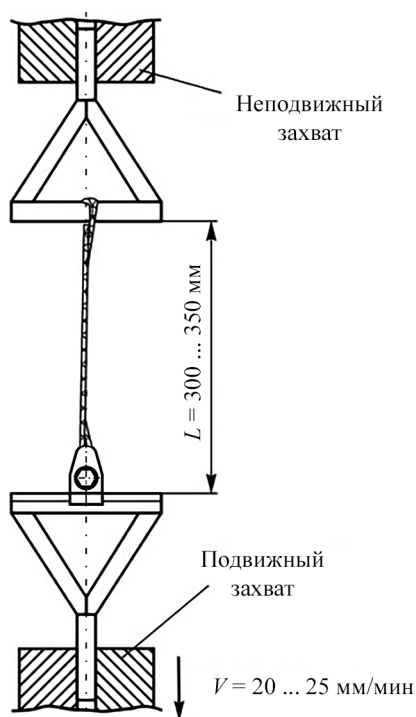


Рисунок 2 – Схема закрепления струн при статическом испытании

Методика проведения статических испытаний заключается в следующем.

Для изготовления образцов полимерной струны использовали отрезки нового полимерного (полиамидного или полиэфирного) каната или бывших в эксплуатации струн диаметрами 4–6 мм, не имеющих в рабочем (испытательном) промежутке

видимых надрывов или выпучивания нитей. Расстояние между верхней и нижней точками закрепления устанавливается в пределах 300–350 мм.

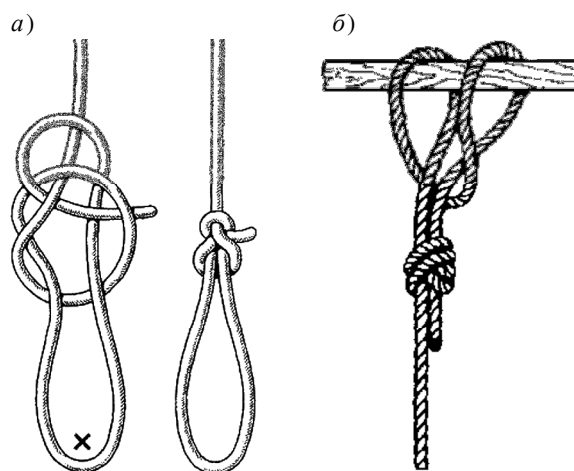


Рисунок 3 – Узлы крепления:
а – на контактном проводе, б – на несущем тросе

Перед испытаниями образцы полимерных струн выдерживали в течение 24 часов при температуре 20 °С и относительной влажности 50 % ± 5.

Испытания проводились при температуре (21 ± 2) °С, относительной влажности воздуха (50 ± 5) %. Эти характеристики замерялись непосредственно у испытательной машины.

Основой для понимания свойств материала являются сведения о том, как материал реагирует на любую установленную нагрузку. Зависимость напряжений и деформаций при растяжении необходима для сравнения различных материалов. Ее определяли следующим образом. Образец растягивали на разрывной машине ZDM 25/91 с постоянной скоростью движения захвата не более 25 мм/мин (в этом случае нагружение можно считать статическим). Разрывная машина имеет 2 шкалы: для регистрации приложенной нагрузки и регистрации удлинения образца.

При растяжении нагрузка измерялась с погрешностью не более ±2 %, удлинение – с погрешностью не более ±5 %. Начиная с нагрузки, составляющей 70–80 % разрушающей, при испытаниях слышно характерное потрескивание, что объясняется разрывами отдельных волокон струны, испытывающих наибольшие напряжения.

Критериями предельного состояния служат: полное разрушение полимерной струны (разделение на две части) или появление видимых разрывов нитей оплетки (рисунок 4).

На основании экспериментальных данных построена диаграмма (рисунок 5), характеризующая средние величины прочности струн в зависимости от срока эксплуатации. Как видно из диаграммы, при эксплуатации полиамидных струн от 4 до

10 лет их прочность снижается незначительно (8 %). Однако по сравнению с новыми полиамидными струнами разница в прочности составляет 3,3 раза, по сравнению с новыми полиэфирными – 2,2 раза.



Рисунок 4 – Характер разрушения полимерной струны

Величина разрушающей механической нагрузки для эксплуатировавшихся струн диаметром 4 мм составляет в среднем 1550–1600 Н, что вполне достаточно для эксплуатации [2, 3]. Разница нагрузочной способности между новыми полиамидной и полиэфирной струнами составляет 25 %, а значит

полиамид является более предпочтительным для эксплуатации, чем полиэфир.

Снижение прочностных характеристик полиамида связано с тем, что он, несмотря на ряд положительных качеств, подвержен воздействию солнечной радиации, атмосферным осадкам и различного рода загрязнениям.

Результаты испытаний приведены в таблице 1.

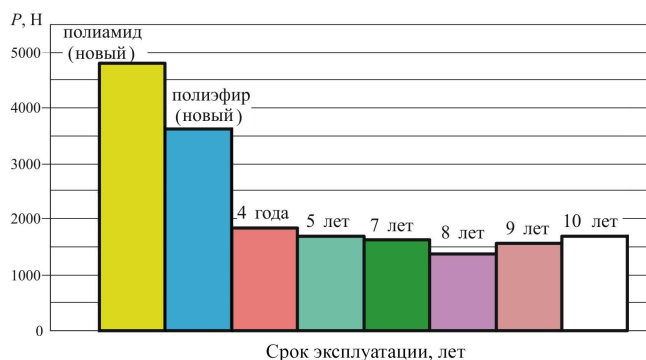


Рисунок 5 – Диаграмма зависимости разрывной нагрузки струн от срока эксплуатации

Был выполнен анализ зоны разрушения полимерной струны. Диаграмма представлена на рисунке 6. Наибольшее количество разрушений приходится на верхний и нижний узлы, наименьшее – на «тело» струны. Это свидетельствует о том, что в узлах возникают наибольшие напряжения.

Таблица 1 – Результаты испытаний полимерных струн на разрыв

	Полиамид (новые)	Полиэфир (новые)	Сроки эксплуатации					
			4 года	5 лет	7 лет	8 лет	9 лет	10 лет
Предельная разрывная нагрузка, Н	5200	3540	1530	1920	2020	1580	1430	1940
	4700	3380	1600	1560	1740	1200	1610	1880
	4800	4200	1720	1560	1420	1280	1610	1720
	4200	3400	1840	1680	1220	1060	1400	1600
	4550	3380	2040	1680	1600	1580	1620	1800
	4650	3760	1820	1860	2100	1500	1620	1160
	5300	3800	2040	1760	1540	1500	1700	1840
	4750	3570	1980	1720	1480	1240	1480	1700
	4830	3660	1980	1780	1620	1340	1580	1540
	5000	3700	1780	1860	1620	1450	1560	1400
	4880	3640	1740	1780	1460			1660
		3580	1760	1820	1620			1900
			1740	1320				1680
			2060	1320				1660
		1840						
		1740						
		1900						
Среднее относительное удлинение с учетом затяжки узлов, %	74,6	32,1	42,6	53,6	35,3	49,5	46,0	53,3
Относительное удлинение материала, %	25–30	8–10	25–30	25–30	25–30	25–30	25–30	25–30



Рисунок 6 – Соотношение зон разрушений полимерных струн

На основании статистического анализа полученных результатов испытаний (таблица 2) была построена гистограмма относительных частот (рисунок 7). Установлено, что закон распределения является нормальным.

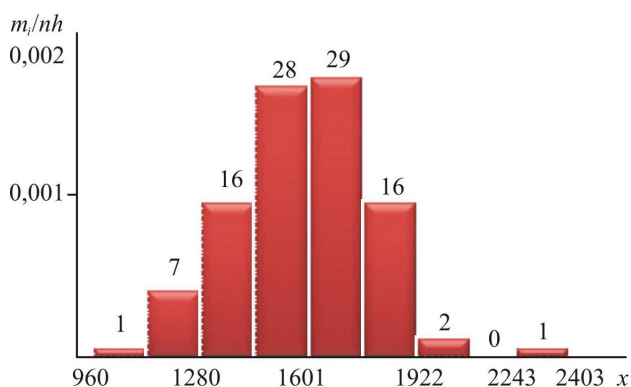


Рисунок 7 – Гистограмма относительных частот предела прочности полиамидной струны диаметром 4 мм

Для построения вариационного ряда экспериментальные данные располагали в порядке возрастания нагрузки (рисунок 8). Затем построили кривые распределения долговечности $P(N)$ на вероятностной сетке, соответствующей логарифми-

чески нормальному закону распределения. По оси абсцисс откладывали значения нагрузки N в ньютонах, а по оси ординат – значения вероятности достижения предельного состояния (разрушения), вычисляемые по формуле

$$P = \frac{i - 0,5}{n},$$

где i – номер модели в вариационном ряду; n – число испытанных струн.

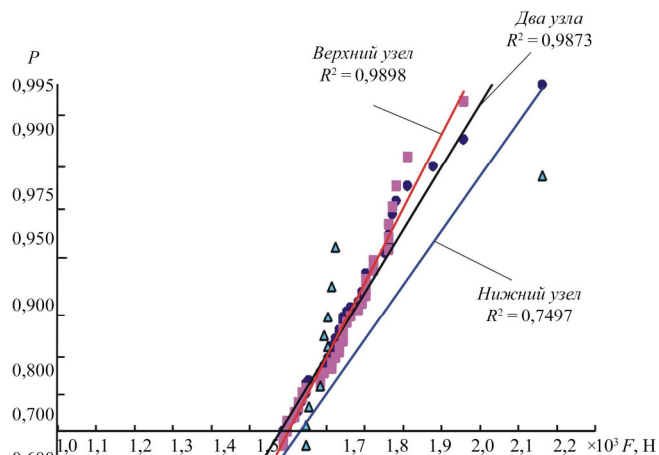


Рисунок 8 – Эмпирические функции распределения предела прочности полиамидной струны диаметром 4 мм для различных мест разрыва

Таблица 2 – Данные статистического анализа

Интервал распределения	[960; 1120)	[1120; 1280)	[1280; 1441)	[1441; 1601)	[1601; 1762)	[1762; 1922)	[1922; 2083)	[2083; 2243)	[2243; 2403)
Среднее значение на интервале x	1040	1200	1361	1521	1682	1842	2002	2163	2323
Число значений в интервале m_i	1	7	16	28	29	16	2	0	1
Математическое ожидание $M[x]$	1592,14								
Дисперсия $D[x]$	43568,6								
Среднеквадратическое отклонение $\sigma[x]$	208,73								
Коэффициент вариации V	13,11								
Коэффициент эксцесса $Ex[x]$	0,438								
Нижний квантиль	1197								
Верхний квантиль	1982								
χ^2	1,671								
Количество степеней свободы	3								
Уровень значимости P -Value	0,643								

Анализ полученного вариационного ряда случайных величин предела прочности уже эксплуатировавшихся полиамидных струн по зоне разрушения (см. рисунок 8) показывает, что чем больше величина выдерживаемой нагрузки, тем больше ее рассеяние. Причем наибольшее рассеяние предела прочности наблюдается при разрывах в нижнем узле. Его средняя величина находится на уровне 1592 Н.

В результате проведенной работы было установлено:

1 К четвертому году эксплуатации величина предела прочности струны стабилизируется и в последующие годы снижается незначительно.

2 Для полиамидных струн диаметром 6 мм, не эксплуатировавшихся на железной дороге, разрывная статическая нагрузка составляет 4600–4800 Н. При этом удлинение струны с учетом затягивания узлов при нагружении является высоким: относительное удлинение $\varepsilon = 35 \dots 75 \%$, а удлинение самого материала находится на уровне $\varepsilon_m = 25 \dots 30 \%$.

3 Для полиэфирных струн диаметром 5,4 мм, не эксплуатировавшихся на железной дороге, разрывная нагрузка составляет 3500–3600 Н. Относительное удлинение $\varepsilon = 30 \dots 35 \%$, а удлинение самого материала находится на уровне $\varepsilon_m = 8 \dots 10 \%$.

4 Несмотря на более низкие показатели предела прочности полиэфирных струн, они имеют более высокие физико-химические свойства.

5 Проведенные испытания подтвердили возможность применения на контактной сети полиамидных струн диаметром 6 мм. Однако, вследствие значительного относительного удлинения, рекомендуется производить предварительную вытяжку струн нагрузкой 1500–1800 Н в течение 48 часов и хорошую затяжку узлов на струновых зажимах, как рекомендуется в [5], для исключения дальнейшего ее растяжения в процессе эксплуатации.

Разработанная методика оценки прочностной надежности струн контактной подвески позволила определить остаточную нагрузочную способность как бывших в эксплуатации струн, так и новых – полиэфирных и полиамидных.

Список литературы

- 1 **Горошков, Ю. И.** Контактная сеть : учеб. для техникумов ж.-д. трансп. – 2-е изд., перераб. и доп. / Ю. И. Горошков, Н. А. Бондарев. – М. : Транспорт, 1981. – 400 с.
- 2 **Селектор, Э. З.** О затухании колебаний вертикальных струн цепной контактной подвески / Э. З. Селектор // Транспортное строительство. – 1981. – № 3. – С. 44–45.
- 3 **Селектор, Э. З.** Капроновые струны вместо сталемедных / Э. З. Селектор // Электрическая и тепловозная тяга. – 1982. – № 9. – С. 39.
- 4 **Корецкая, Л. С.** Атмосферостойкость полимерных материалов / Л. С. Корецкая. – Мн. : Навука і тэхніка, 1993. – 206 с.
- 5 Полимерные материалы в устройствах контактной сети / В. Д. Потапов [и др.]. – М. : Транспорт, 1988. – 224с.

Получено 04.03.2009

S. A. Skorohodov. Experimental researches of mechanical properties of droppers of catenary suspension.

The complex of experimental researches of mechanical properties of the various materials used as droppers is executed. The developed technique of an estimation strength reliability of droppers of a contact suspension bracket has allowed to define residual loading ability both the droppers which were in operation, and new – polyester and polyamide.