

Совершенствование конических резинометаллических пружин

Конические многослойные резинометаллические пружины были созданы в 1980-х годах в ходе разработки и внедрения легких бесшкворневых тележек для пригородного подвижного состава. Конструктивной особенностью таких пружин является сочетание резиновых прокладок и стальных колец. Преимуществом такой конструкции является снижение размеров и массы, поскольку в данном случае отпадает необходимость в применении стальных пружин, гидравлических амортизаторов и цилиндрических буксовых направляющих; сокращаются также расходы на техническое обслуживание и ремонт.

Вместе с тем изменение характеристик резины в процессе старения и, особенно, возникновение эффекта ползучести приводят к уменьшению высоты пружин в процессе эксплуатации, что требует проведения регулировочных работ. При этом наличие недавно разработанной эластичной муфты, изготовленной из армированного углеродным волокном пластика и располагаемой между осью колесной пары и тяговым двигателем, ограничивает такую регулировку узким размерным диапазоном. По этой причине следует стремиться к возможно менее частой регулировке высоты пружин.

В процессе разработок, выполненных в Научно-исследовательском институте железнодорожной техники Японии (RTRI), рассматривалось несколько вариантов решения данной проблемы, в частности применение в первой ступени рессорного подвешивания комбинации стальных спиральных пружин и резиновых амортизаторов или изменение угла контакта между стальными кольцами и резиновыми прокладками резинометалли-

ческих пружин. Реальное использование таких технических решений на тележках, эксплуатируемых в настоящее время, не представляется возможным без изменения конструкции буксовых узлов и рессорного подвешивания. В связи с этим было принято решение провести исследование по совершенствованию состава резины, применяемой в резинометаллических пружинах.

Ход разработок

Концепция

Основная концепция разработок, направленных на совершенствование резинометаллических пружин, заключалась в следующем: не должно быть необходимости в изменении конструкции тележек (в частности, буксового узла); усовершенствованные пружины должны отвечать действующим техническими требованиям и не оказывать отрицательного влияния на ходовые свойства подвижного состава. При этом:

- предъявляемые к пружинам технические требования и многослой-

ная конструкция пружин сохраняются без изменений; должна быть обеспечена полная взаимозаменяемость пружин;

- коэффициент уменьшения высоты усовершенствованных пружин в процессе эксплуатации должен быть снижен на 20% в сравнении с серийными пружинами прежней конструкции;

- стабильность адгезионной прочности и основных характеристик усовершенствованных пружин должна быть на том же или более высоком уровне в сравнении с серийными пружинами;

- клеящее вещество (адгезив), с помощью которого соединяются стальные и резиновые элементы пружины, должно вулканизироваться в отсутствие свинца;

- стоимость разработок должна быть минимальной.

Состав резины

При восприятии статических и динамических нагрузок от рамы тележки в резиновых прокладках рассматриваемой резинометаллической пружины возникают срезающие усилия в вертикальном направлении. Как показали результаты ранее проведенных исследований, в процессе старения у резиновых прокладок возникает остаточная деформация (уменьшение высоты) и возрастает жесткость в зависимости от продолжительности воздействия срезающих усилий и внешних температурных факторов в процессе эксплуатации. В случае улучшения характеристик ползучести резиновых элементов проблему стабилизации вертикального размера пружин можно будет решить. Кроме того, весьма важно сохранить усталостную прочность и стабильность других параметров, существенно влияющих на динамические характеристики ходовой части подвижного состава.

Учитывая изложенное, рассматривалась возможность применения различных добавок в состав резины,

обеспечивающих улучшение характеристик и увеличение продолжительности срока службы до проявления усталостных явлений и старения.

Основным фактором, влияющим на характер явлений ползучести и усталости в резине, является дисперсность вводимых в ее состав добавок. В качестве одного из вариантов, привлечших особое внимание, состав резины был модифицирован черной сажей. Постоянство механических свойств резиновой смеси достигается при равномерном распределении (без значительных скоплений) мельчайших частиц сажи, не смешанных с другими частицами.

Вулканизация адгезива

Высокие показатели сцепления резиновых элементов пружины со стальными обеспечивает вулканизируемый адгезив на основе свинца. Однако вредное воздействие свинца на окружающую среду не допускает впредь использования таких препаратов. В связи с этим при разработке перспективных пружин ориентировались на применение адгезива, вулканизируемого без присутствия свинца.

Характеристики

Для проведения исследований были изготовлены два опытных образца резины, два опытных образ-

ца металлических элементов и две опытные пружины (образцы получили обозначения А и В) с прокладками из резины различного состава, но рассчитанной на высокую сопротивляемость деформациям и срок службы 10–15 лет. Стабильность указанных характеристик зависит от условий внешней среды, в которой эксплуатируются пружины. Эти условия влияют на процессы деградации резиновых элементов и коррозии стальных. В процессе испытаний сопоставлялись данные о характеристиках как опытных, так и находящихся в эксплуатации серийных пружин по мере накопления срока службы с точки зрения ползучести и усталости.

Методика испытаний

В ходе испытаний использовались объекты следующих конфигураций и размеров:

- при испытаниях на сопротивляемость ползучести — цилиндрические резиновые образцы диаметром 30 мм и длиной 25 мм;
- при испытаниях на сопротивляемость усталостным явлениям — резинометаллические пружины в натуральную величину;
- при испытаниях на адгезионную прочность и сопротивляемость коррозии — стальные пластины размером 6,0×25,0×1,5 мм (образцы для испытаний по Пилу в соответствии

со стандартом JIS K6256) и резиновые прокладки.

Условия испытаний определялись с учетом накопленного ранее опыта проведения ускоренных испытаний.

Испытания на сопротивляемость ползучести. Измерения соответствующих параметров опытных и серийных резиновых образцов выполнялись на имеющемся стенде методом кручения со сжатием при следующих условиях: сжатие — 25%, температура окружающей среды — 70 °С, продолжительность испытаний — 8 сут.

Испытания на сопротивляемость усталостным явлениям. Для оценки сопротивляемости усталостным процессам в течение более чем 10 лет эксплуатации в ходе испытаний температура окружающей среды искусственно завышалась по сравнению с реальной в целях ускорения улетучиваемости присадок, продлевающих срок службы резины, и/или молекулярного старения резины. Далее проводились циклические нагружения испытуемых опытных и серийных резинометаллических пружин направленными по вертикали нагрузками, соответствующими массе порожней и груженой единицы подвижного состава. При этом соблюдались следующие режимы испытаний: максимальная нагрузка — 33,7 кН, минимальная нагрузка — 21,5 кН, частота нагружений — 2,5 Гц, форма волны нагружений — синусоидальная, температура окружающей среды — 70 ± 2 °С.

Проведенные ранее исследования показали, что для имитации условий 12-летней эксплуатации необходимы 10 млн. циклов нагружения.

Кроме того, была разработана методика дополнительных испытаний на статическую и динамическую жесткость для оценки напряжений, возникающих в резине пружин с параметрами, приведенными в табл. 1. Испытания на статиче-

Таблица 1

Параметры резинометаллических пружин

Параметр	Справочные значения	
	Моторный вагон	Прицепной вагон
Высота	243 ± 2 мм (без нагрузки)	
Жесткость в вертикальном направлении	0,854 кН/мм	0,696 кН/мм
Жесткость в продольном направлении	3,72 кН/мм	3,23 кН/мм
Жесткость в поперечном направлении	2,74 кН/мм	2,60 кН/мм
Твердость по стандарту JIS	57°	53°
Удлинение при растяжении	Более 400%	
Деформация при сжатии	Менее 25%	

Таблица 2

Режимы испытаний на адгезионную прочность

Условия		Температура, °С	Продолжительность, ч	Число циклов нагружения
С солевыми взвешями в воздухе (0,016%-ный раствор соли в воде)	Влажный воздух	35 ± 2	24	6
	Сухой воздух		8	
Без солевых взвесей в воздухе (дистиллированная вода)	Влажный воздух		24	3
	Сухой воздух		8	

скую жесткость пружин должны проводиться при постоянной вертикальной нагрузке, на динамическую жесткость — при переменной вертикальной нагрузке с волной синусоидальной формы и со смещением. Так, применительно к пружине моторного вагона динамические испытания следует проводить при нагрузке $21,5 \pm 10\%$ кН, прилагаемой с частотой 5 Гц.

Испытания на адгезионную прочность. Испытаниям подвергали опытные и серийные пары стальная пластина — резиновая прокладка, соединенные тонким слоем вулканизированного адгезива. При моделировании эксплуатационных воздействий учитывалось, что условия работы адгезивного слоя будут весьма сложными при эксплуатации подвижного состава в прибрежных (морских) районах, где в отличие от внутриконтинентальных районов концентрация солей в воздухе может достигать высокого уровня и способствовать возникновению коррозии металлических элементов. С учетом изложенного испытания для определения долговечности вулканизированного адгезива путем циклического нагружения были дополнены испытаниями начальной прочности соединения металла с резиной. В процессе изучения усталостных процессов в адгезиве в специальной камере чередовались испытания при нейтральном состоянии влажного и сухого воздуха и при наличии в нем солевых взвесей. Эти испытания были дополнены ускоренными испытаниями коррозионной стойкости металла в области контакта с вулканизированным адгезивом. Режимы испытаний были разработаны ранее и приведены в табл. 2.

После соответствующей подготовки испытуемых стальных образцов (дробеструйной обработки, обезжиривания, покрытия фосфорной кислотой и т. д.) на них наносился и высушивался вулканизированный адгезив. Далее с помо-

щью ножа для резки пластмассы на образцах делались царапины длиной 15 и шириной 0,1 мм. Испытания продолжались 288 ч. По их завершении производился визуальный осмотр образцов и определялась сопротивляемость коррозии. Выполнялись также замеры прочности вулканизированного адгезива в соответствии с требованиями стандарта JIS 6256.

Результаты

Сопротивляемость ползучести. На рис. 1 представлены результаты испытаний резинометаллических пружин на сжатие. Резина экспериментального состава имела показатели остаточной деформации на 20 и 40% меньше в сравнении с применяемой в серийных пружинах и повышенную сопротивляемость ползучести. Применение резины улучшенного состава в пружинах позволит существенно улучшить их характеристики.

Сопротивляемость усталостным явлениям. После проведения ускоренных усталостных испытаний на образцах как экспериментальных, так и серийных резинометаллических пружин не было обнаружено таких видимых дефектов, как трещины или расслоения. На рис. 2 и 3 представлены результаты испытаний по определению статической и динамической жесткости амортизаторов после приложения 1 млн. циклов нагружения. Опытный образец А имел значительно более высокую начальную

динамическую жесткость в сравнении с характеристиками, приведенными в табл. 1. Однако в ходе как статических, так и динамических испытаний не было обнаружено никаких изменений (в сторону увеличения) жесткости по мере возрастания числа циклов нагружения. После 10 млн. циклов нагружения опытный образец А имел статическую жесткость, аналогичную показанной серийным образцом В, а динамическая жесткость опытного образца А оказалась на 20% ниже, чем серийного образца В. Эти данные свидетельствуют о том, что опытный образец А имеет удовлетворительные показатели сопротивляемости ползучести и более высокие показатели сопротивляемости усталостным явлениям в сравнении с серийным амортизатором В.

Поскольку опытный образец В по своим характеристикам оказался соответствующим техническим требованиям к резинометаллическим пружинам, увеличение его динамической и статической жесткости представляется маловероятным. Вместе с тем результаты испытаний свидетельствуют, что опытный образец В имеет большую сопротивляемость усталостным явлениям по сравнению с серийными образцами.

При этом начальная жесткость опытного образца А превышает максимально допустимое значение этого показателя и отрицательно влияет на ходовые свойства подвижного состава. В связи с этим была выполнена оценка этого влия-

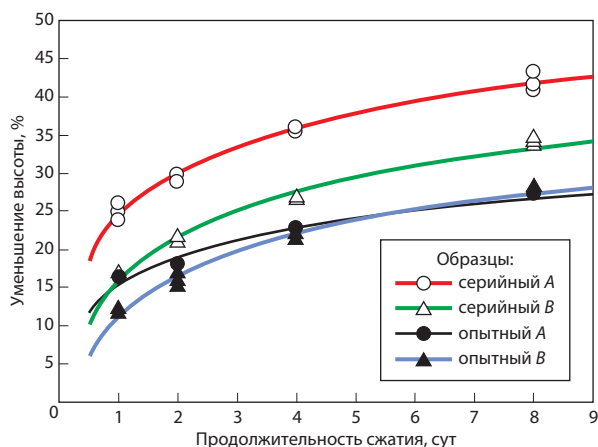


Рис. 1. Результаты испытаний пружин на сжатие

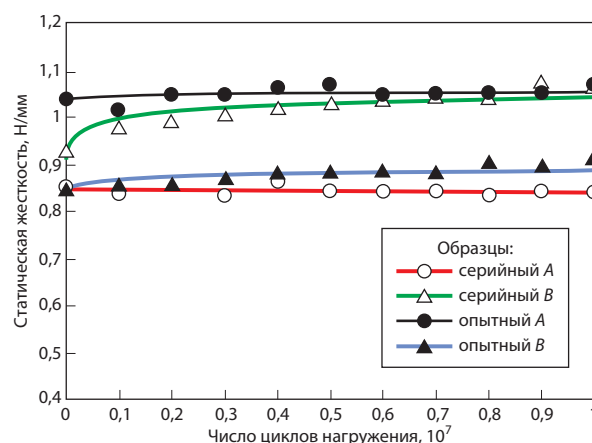


Рис. 2. Результаты статических испытаний

ния путем испытаний модели экипажа на специальном стенде. Полученные результаты приведены ниже.

Свойства вулканизированного адгезива. В результате испытаний по циклическому нагружению опытного образца А на стальной пластине обнаружилось возникшие очаги коррозии в области специально нанесенных царапин. Распространение коррозии от ее очагов имело такой же характер, что и у серийного образца А. С другой стороны, у опытного образца А интенсивность коррозии в области царапин оказалась меньшей, чем у опытного образца В.

Испытания на начальную прочность вулканизированного адгезива у различных образцов показали следующие результаты: серийный образец А — 9,8 Н/мм, серийный образец В — 7,4 Н/мм, опытный образец А — 8,4 Н/мм, опытный образец В — 7,9 Н/мм.

У опытных образцов этот показатель оказался ниже, чем у соответствующих серийных. Однако, как показали результаты испытаний с циклическим нагружением, выполненных в соответствии с режимами, приведенными в табл. 2, существенной разницы в значениях прочности сцепления металла с резиной не наблюдалось независимо от числа циклов нагружения и на-

личия или отсутствия свинца в вулканизированном адгезиве. Следует также отметить, что используемый в настоящее время вулканизируемый адгезив обеспечивает удовлетворительную работу пружин в нормальных атмосферных условиях в течение 12 лет.

Таким образом, прочность слоя вулканизированного адгезива между металлическими и резиновыми элементами пружин и продолжительность его срока службы у опытных и серийных образцов примерно одинаковы.

Опытные образцы пружин имели большую толщину резиновой прокладки в области вершины конического металлического элемента, где может зарождаться коррозия металла, что, как полагают, позволит увеличить срок службы адгезионного соединения.

Влияние пружин на ходовые свойства подвижного состава

Резинометаллические пружины, устанавливаемые между буксовыми узлами и рамами тележек, непосредственно влияют на динамические характеристики подвижного состава. При разработке усовершенствованных пружин было необходимо исключить ухудшение параметров, реализуемых при серийных пружинах. Однако повышенная на-

чальная жесткость опытной пружины А примерно соответствовала жесткости серийных пружин после 5 лет эксплуатации, что не соответствует техническим требованиям, обусловленным динамикой тележек. На практике это означает, что использование пружин с повышенной жесткостью способствует возникновению эффекта виляния тележек. В связи с этим на специальном испытательном стенде были проведены ходовые испытания модели вагона, оснащенной опытными пружинами А. Это позволило оценить влияние пружин повышенной жесткости на динамику тележек.

Методика испытаний

Испытания проводились на испытательном стенде с использованием модели вагона пригородного поезда в 1/2 натуральной величины с тележкой типа RTR 235, оснащенной восемью резинометаллическими пружинами. Эта модель включает раму, имитирующую массу кузова вагона и опирающуюся с одной стороны на бесшкворневую тележку через систему пневматических баллонов и адаптер и зафиксированную с другой стороны. Тележка соединена с рамой посредством одношарнирной тяги. Предусмотрена возможность регулировать нагрузку за счет изменения числа

стальных грузов, устанавливаемых на раму.

Целью испытаний являлось определение частотных характеристик и скорости возникновения виляния. В процессе испытаний в тележке применялись опытные пружины А, новые серийные пружины А, серийные пружины В после 5 и 12 лет эксплуатации, что позволило сопоставить характеристики.

Анализ динамических характеристик. В процессе испытаний на стенде имитировали скорость движения экипажа 20 км/ч; при этом обе колесные пары тележки подвергались гармоническим вибрациям в вертикальном направлении со следующими параметрами: частота 0,4 Гц — амплитуда $\pm 5,0$ мм, частота 1,6 Гц — амплитуда $\pm 4,0$ мм, частота 5,0 Гц — амплитуда $\pm 1,0$ мм, частота 9–15 Гц — амплитуда $\pm 0,5$ мм. Для каждого значения частоты вибраций измеряли расстояние между одним из буксовых узлов и рамой тележки.

Определение параметров возникновения виляния. При возрастании имитируемой скорости движения до 120 км/ч измерения параметров проводили через интервалы в 10 км/ч. Принудительной вибрации подвергалась только одна из колесных пар. Явление виляния исследовали при изменяющейся частоте вибраций. Поперечные вибрацион-

ные ускорения измеряли на одном из буксовых узлов колесной пары при следующих условиях циклического нагружения: форма волны нагружения — синусоидальная, частота — 4 Гц, амплитуда — ± 3 мм.

Результаты

Динамические характеристики. На рис. 4 представлена зависимость смещения буксового узла от частоты вибраций для каждого из исследованных образцов резиноталочных пружин. Анализ этой зависимости позволил определить собственные частотные характеристики пружин при нагрузках, соответствующих массе тары моторного вагона. Видно, что для всех образцов получены примерно одинаковые величины смещения буксового узла относительно рамы тележки при всех значениях частоты вибраций. При трех значениях частоты вибраций наблюдались заметные пики смещений. Частота 14 Гц эквивалентна резонансной частоте колебаний буксового узла, поэтому вблизи этой частоты смещения имели наибольшую величину. Для серийной пружины В после 12 лет эксплуатации резонансная частота оказалась равной примерно 15 Гц, для серийной пружины А — 13 Гц, для других — несколько иные значения. Так, опыт-

ная пружина А в изученном интервале измерений имела форму колебаний, аналогичную свойственной серийной пружине В после 5 лет эксплуатации, и резонанс буксовых узлов с такими пружинами наступал при частоте 14 Гц. Возрастание динамической жесткости серийной пружины после 5 лет эксплуатации (до или после начального сжатия на 20%) не оказывает существенного отрицательного влияния на динамику ходовой части подвижного состава. Исходя из этого не следует ожидать ухудшения динамических характеристик тележек при использовании опытных пружин А, которые имеют высокую начальную жесткость.

Параметры виляния. Для испытаний с указанной целью тележка была оснащена опытными резиноталочными пружинами А с включением в рессорное подвешивание дополнительного гасителя виляния. По достижении имитируемой скорости движения около 130 км/ч принудительно возбуждались поперечные колебания, и скорость постепенно повышалась до 180 км/ч. Сопоставлялись ускорения собственных и принудительных вибраций буксового узла в указанном диапазоне скорости.

Установлено, что вибрационные ускорения буксового узла в поперечном направлении не оказыва-

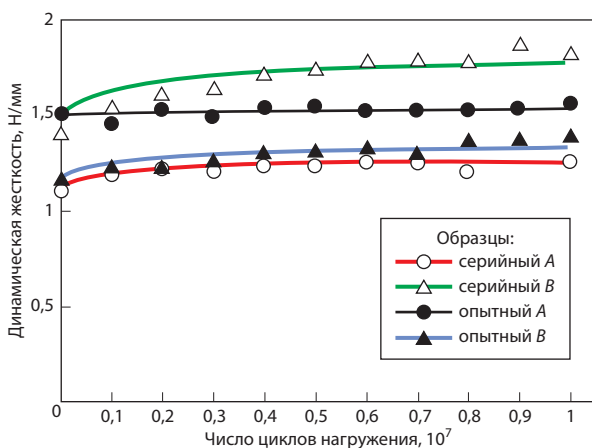


Рис. 3. Результаты динамических испытаний

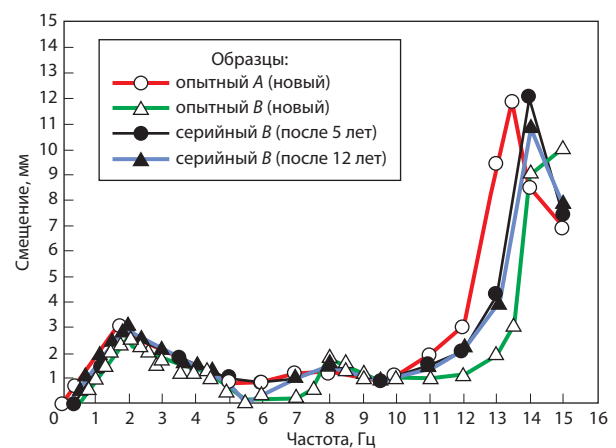


Рис. 4. Зависимость смещения буксового узла от частоты вибраций

ют отрицательного влияния на ходовые свойства подвижного состава при движении с высокой скоростью.

Испытания с опытными пружинами В не проводились, поскольку жесткость таких пружин эквивалентна жесткости серийных пружин А и ухудшения ходовых свойств не предвидится.

Выводы

В связи с возникновением явления ползучести вертикальный размер резинометаллических пружин уменьшается, что приводит к необходимости выполнения работ по регулировке высоты расположения буксового узла относительно рамы тележки. Для решения этой проблемы разработаны два варианта состава резины с улучшенными характеристиками.

С использованием усовершенствованной резины изготовлены два опытных образца пружин (А и В) и определено влияние их характеристик на характеристики рессорного подвешивания тележек и ходовой части подвижного состава в целом.

В результате испытаний сделаны следующие выводы.

За счет модификации состава резины черной сажей возможно изготовление резиновых элементов,

характеристики ползучести которых на 20–30% превосходят аналогичные показатели серийных элементов.

Использование двух различных опытных образцов позволило определить влияние продолжительности срока службы на их статическую жесткость и усталостных явлений — на динамическую жесткость. Опытный образец А не отвечает предъявляемым требованиям из-за высокой начальной жесткости. Вместе с тем после 10 млн. циклов нагружения жесткость этого образца оставалась практически постоянной, а показатели усталости соответствовали аналогичным показателям серийного образца В. У опытного образца В после циклических нагружений начальная жесткость увеличилась в меньшей степени, а показатели сопротивляемости усталостным явлениям соответствовали серийному образцу А.

С учетом необходимости снижения вредного влияния железных дорог на окружающую среду подтверждена возможность использования бессвинцовистого вулканизируемого адгезива между металлическими и резиновыми элементами пружин с сохранением приемлемых показателей адгезионной прочности и долговечности соединения.

Согласно результатам испытаний модели единицы подвижного состава на стенде с применением опытных пружин А, имеющих высокую начальную статическую жесткость, эффект влияния тележки оказался неприемлемым, равно как и частота вибраций при имитации скорости 180 км/ч. Однако, как полагают, это не должно влиять на ходовые свойства, уровень вибраций и параметры виляния при движении поездов из сочлененных вагонов.

Таким образом, с высокой степенью вероятности можно предположить, что разработанные в результате проведенных исследований и испытаний резинометаллические пружины позволят на 25–40% сократить уменьшение высоты пружинного комплекса в процессе эксплуатации по сравнению с серийными пружинами. Новые пружины соответствуют действующим техническим требованиям, обеспечивают приемлемые ходовые свойства подвижного состава и взаимозаменяемы с серийными пружинами, что должно привести к существенному снижению трудоемкости технического обслуживания ходовой части подвижного состава.

По материалам Railway Technical Research Institute (Япония).

Редакция журнала

«Железные дороги мира»

приглашает на внештатную работу переводчиков с английского, немецкого и французского языков, имеющих опыт работы на железнодорожном транспорте и проживающих в Москве или Московской области.

Обращаться по телефону (499) 317-55-65 или по электронной почте zdm@css-rzd.ru.