

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

МИХАИЛ БИТЮЦКИЙ

С развитием производства в России появляется все большее количество моделей подвижного состава железных дорог, возрастают скорости движения и увеличиваются межремонтные периоды. В связи с этим повышаются требования к качеству и безотказной работе выпускаемого в обращение подвижного состава.

Для того чтобы гарантировать безопасность в эксплуатации, механизмы и конструкции должны быть прочными, а также функциональными и легкими для экономичного использования материалов, что позволит достичь высокой экономической эффективности.

Проведение испытаний является одним из эффективных методов подтверждения обоснованности выбранных на этапе проектирования конструкторских решений и качества изготовления продукции.

Например, это может быть сделано с помощью точных исследований напряженных состояний, выполненных по общепризнанному методу тензометрических измерений, поскольку тензометрия получила широкое распространение

в самых различных областях науки и техники.

Тензометрирование машин, механизмов и агрегатов необходимо для оценки напряженно-деформированного состояния элементов, деталей и узлов при эксплуатационных и специальных режимах работы. Тензорезисторы являются основой высокоточных измерений в этой области.

Методами тензометрирования можно решать следующие задачи:

- исследование напряжений и деформаций конструкции, а также проверку на соответствие расчетным данным;
- определение запасов прочности и устойчивости конструкции при кратковременных, длительных и циклических нагрузках;

- определение количественных показателей надежности узлов при нормальной эксплуатации и при специальных режимах работы;

- подтверждение соответствия показателей прочности, несущей способности конструкции.

Действие тензорезисторов основано на принципе изменения сопротивления металлов под влиянием деформаций. Основой тензорезистора служит чувствительный элемент, сопротивление которого изменяется пропорционально напряжению на поверхности измеряемого объекта. Чувствительный элемент фольговых тензорезисторов (решетка) изготавливается из фольги — тонколистового металла толщиной 0,002–0,1 мм. Материал — сплав Ni-Cu или Ni-Cr. Эти датчики имеют малые размеры и изготовлены методом фототравления. Основой тензорезистора является пленка из синтетической смолы (рис. 1). Допускается изготовление решетки практически любых требуемых размеров и форм как в одноэлементном, так и в розеточном исполнении. В фольговых датчиках переходные участки на витках петлевой решетки выполняются не круглого, а прямоугольного сечения с шириной в направлении продольных полосок, в несколько раз большей ширины этих полосок.

Измерение деформаций с помощью тензорезисторов основано на тензоэффекте. Тензоэффектом называется свойство проводнико-

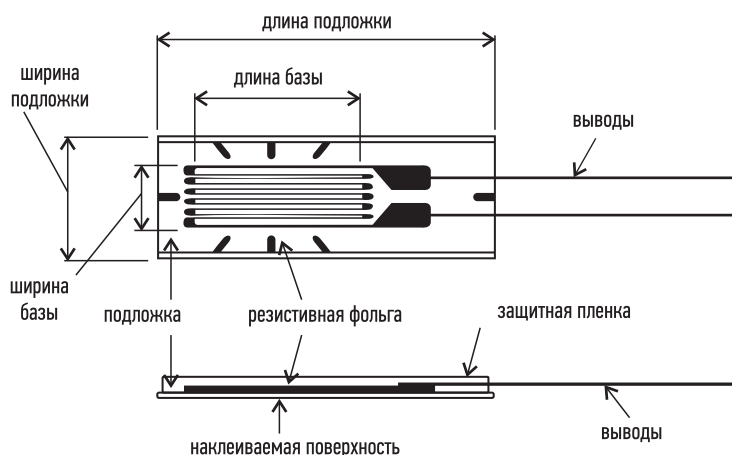


РИС. 1. ►
Структура тензорезистора

вых и полупроводниковых материалов изменять электропроводность (электрическое сопротивление) при изменении объема или напряженного состояния. Тензорезисторы выпускаются в различной конфигурации. На рис. 2 представлены лишь некоторые из них.

Повышение качества проводимых испытаний предполагает использование современных тензометрических систем, которые удовлетворяют возрастающим требованиям к регистрации и обработке данных, получаемых в ходе испытаний.

Тензометрические системы предназначены для сбора, преобразования, передачи, регистрации и последующей обработки сигналов от первичных преобразователей, которыми могут являться тензорезисторы, датчики ускорения, перемещения, силы, температуры, давления, а также иные датчики и сенсоры, устанавливаемые на кузовах подвижного состава, ходовых частях и/или их комплектующих, подвергаемых экспериментальным исследованиям. Как правило, тензометрические системы могут работать как независимо друг от друга, так и в стечных системах регистрации сигнала.

Основными показателями, характеризующими производительность и удобство работы с тензометрическими системами, являются:

- количество измерительных каналов;
- частота дискретизации сигнала;
- длина кабеля между датчиком/сенсором и измерительной системой;
- возможность фильтрации сигнала;
- диапазон сопротивления используемых тензорезисторов;
- достоверность получаемого сигнала;
- возможность одновременной работы с различными типами датчиков и/или сенсоров;
- масса, габаритные размеры, мобильность системы;
- возможность работы в широком диапазоне температур окружающей среды;
- возможности регистрации и обработки поступающего сигнала прилагаяемым программным обеспечением.

Рассмотрим подробно каждый из вышеперечисленных показателей в отдельности.

Количество измерительных каналов — одна из самых важных харак-

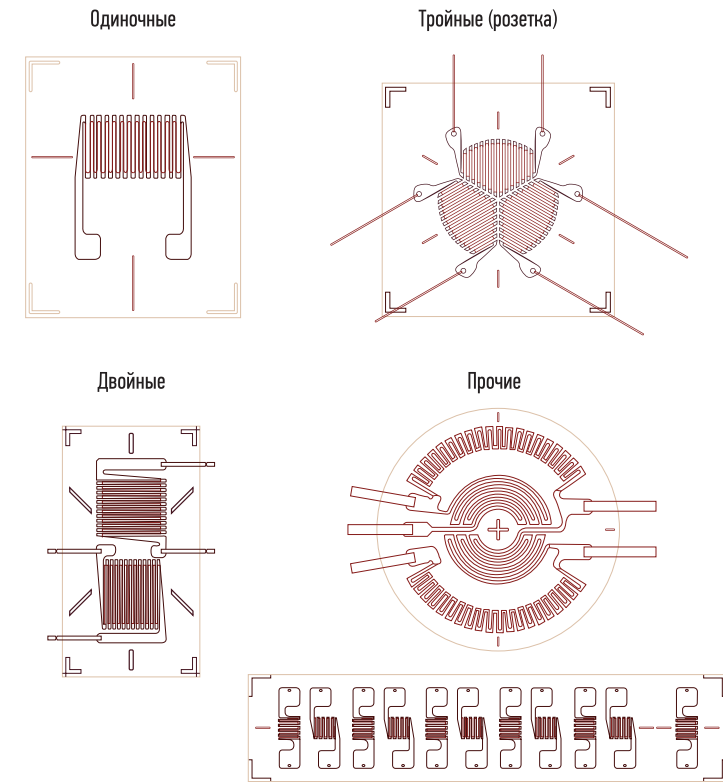


Рис. 2. ◀ Конфигурация тензорезисторов

теристик при испытаниях объектов подвижного состава, особенно при исследовательских испытаниях. В последнее время создаваемые новые технически сложные конструкции подвижного состава требуют уточненных экспериментальных исследований, что в свою очередь вызывает необходимость использования тензометрических систем с увеличенным числом измерительных каналов. На рис. 3 в качестве примера показан общий вид тензометрической системы MGC+ разработки фирмы НВМ

(Германия) с измерительными каналами (разъемами) для подключения первичных преобразователей.

Тензометрические системы с большим количеством измерительных каналов дают возможность более детального изучения конструкции тестируемого объекта. Количество измерительных каналов, используемых при испытаниях, как правило, зависит от сложности конструкции и типа испытуемых объектов. Так, при предварительных и периодических испытаниях вагона-цистерны



Рис. 3. ◀ Общий вид тензометрической системы MGC+ для подключения первичных преобразователей (128 измерительных каналов)

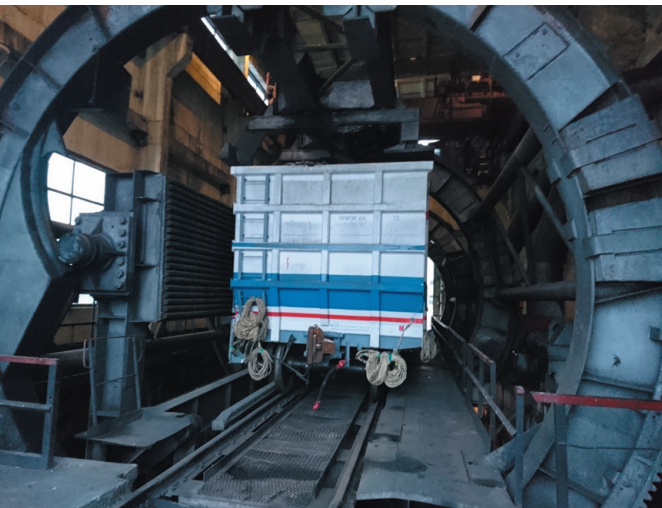


РИС. 4. ▲
Испытуемый полувагон, установленный для подготовки к испытаниям на разгрузку в вагоноопрокидывателе

достаточно 60 измерительных каналов, вагона-платформы, полувагона или крытого специализированного вагона — около 100. При исследовательских испытаниях количество измерительных каналов может достигать нескольких сотен.

Частота дискретизации регистрируемого сигнала является характеристикой, которая определяет количество опросов в единицу времени одного или нескольких первичных преобразователей. В зависимости от типа (модели) тензометрической системы частота дискретизации может зависеть или не зависеть от числа опрашиваемых каналов. При испытаниях на прочность при соударении, усталостных и ходовых испытаниях частота дискретизации играет важную роль, когда необходимо провести измерение процесса, длительность которого не превышает нескольких миллисекунд.

При испытаниях на статическую прочность конструкции тестируе-

мого объекта частота дискретизации не является определяющей характеристикой тензометрической системы, так как измерение напряжений производят в течение значительно большего времени, чем при динамических испытаниях.

Длина кабеля между первичным преобразователем сигнала и измерительным модулем не менее важная характеристика тензометрической системы, особенно при ходовых испытаниях, где необходимо формировать сцеп из испытуемых изделий подвижного состава. Возможны и другие случаи: например, при тестированиях полувагона с разгрузкой в вагоноопрокидывателе (рис. 4) измерительная система должна находиться на достаточно большом (25–50 м) удалении от места проведения испытаний в целях обеспечения безопасности персонала, проводящего испытания.

Программные цифровые фильтры (рис. 5) позволяют уменьшить влияние электромагнитных помех искусственного и естественного происхождения, искажающие полезный сигнал и возникающие в процессе испытаний, а также пиковые напряжения, не приводящие к разрушению или необратимой деформации конструкции и снижающие достоверность измерений.

Тензометрическая система с одновременно подключенными датчиками силы и перемещений (рис. 6), генерирующими отличные друг от друга типы сигналов, позволяет провести полный цикл испытаний тележки грузового вагона с регистрацией всех необходимых параметров в максимально короткий промежуток времени без использования ручного измерительного инструмента.

Возможность одновременной работы тензометрической системы

с различными типами первичных преобразователей позволяет в случае необходимости сократить номенклатуру используемых измерительных систем. Например, при проведении испытаний на прочность при соударении вагонов в ряде случаев требуется измерять не только напряжения в конструкции испытуемого объекта, но и ускорение различных узлов конструкции. Поэтому тензометрическая система, которая может работать не только с тензорезисторами, но и с датчиками ускорений, будет более актуальной, в том числе и потому, что два разных типа сигнала четко коррелированы по времени возникновения пиковых значений.

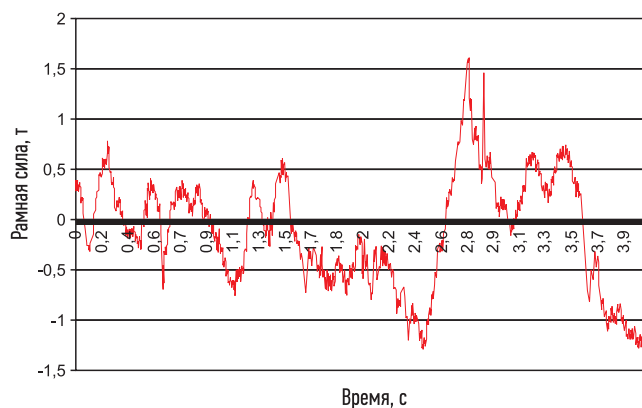
Масса, габаритные размеры и мобильность являются важными показателями тензометрической системы, поскольку испытания объектов подвижного состава проводятся зачастую на территориях испытательных полигонов и заводов — изготовителей продукции.

Работа в широком диапазоне температур окружающей среды также представляется немаловажным показателем, влияющим на возможность применения тензометрических систем, в том числе в полевых условиях в любое время года.

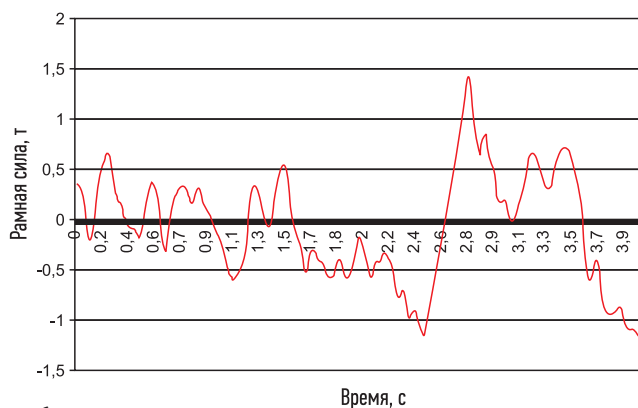
Прилагаемое программное обеспечение тензометрических систем, как правило, обеспечивает возможность сбора и обработки данных (рис. 7). Современные тензометрические системы обычно поставляются с программным обеспечением, которое позволяет:

- визуализировать регистрируемый сигнал;
- настраивать внешний вид интерфейса графической визуализации;

РИС. 5. ▼
Результат фильтрации зарегистрированного сигнала:
а) зарегистрированный сигнал;
б) отфильтрованный сигнал



а



б

- осуществлять обработку полученных данных.

На рис. 7 в качестве примера показан фрагмент интерфейса с оператором тензометрической системы MGC+.

Одним из важных факторов при выборе тензометрической системы является возможность ее использования при сертификационных испытаниях железнодорожной продукции. Для этого тензометрическая система должна входить в перечень средств измерений, допущенных к проведению таких видов испытаний, и включена в Государственный реестр РФ средств измерений.

В таблице приведено сравнение основных характеристик наиболее распространенных тензометрических систем.

Таким образом, современные тензометрические системы позволяют регистрировать различные типы сигналов в зависимости от видов испытаний подвижного состава и решать широкий круг задач, связанных с экспериментальной оценкой прочности, надежности и других показателей в условиях как заводов-изготовителей, так и специализированных испытательных полигонов. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 21616-91 «Тензорезисторы. Общие технические условия». 1992.
2. ГОСТ 33788-2016 «Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества».
3. Шишмарев В. Ю. Технические измерения и приборы. Учебник. М.: Юрайт, 2019.
4. Тензометрический метод измерения деформаций. Учебн. пособие. Изд-во Самарского государственного аэрокосмического университета, 2011.

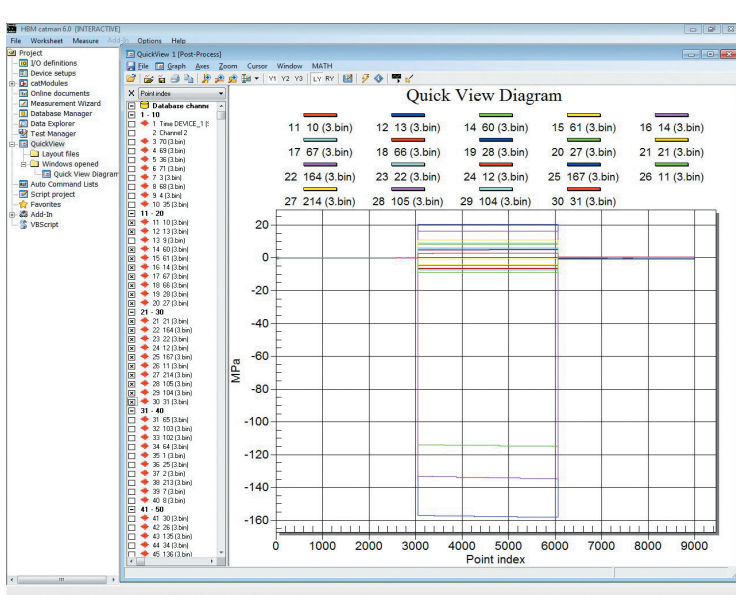


РИС. 6. ▲ Телетка грузового вагона, оборудованная различными типами датчиков

РИС. 7. ◀ Пример интерфейса тензометрической системы MGC+

ТАБЛИЦА. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Наименование	Количество измерительных каналов	Частота опроса, Гц	Возможность наращивания (стекования)	Возможность замены модулей	Наличие в Реестре СИ
NBM MGC+ (Германия)	128	19 200 на каждый канал	Да	Да	Да
NBM QuantumX (Германия)	16	19 200 на каждый канал	Да	Нет	Да
Kyowa EDX-2000A (Япония)	32	2048 на каждый канал	Нет	Да	Да
Siemens LMS (Нидерланды)	72	25 600 на каждый канал	Да	Да	Нет
Zetlab (Россия)	32	40 000 на каждый канал	Да	Да (только в стеке)	Да
MMTS 64.01 (Россия)	64	1024 на все каналы	Да	Нет	Да
Мера MIC-236 (Россия)	128	4800 на каждый канал	Да	Да	Да