

ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ

Для работы датчика давления в условиях нестационарных тепловых потоков специалистами НИИ физических измерений (Пенза) предложена новая топология тензорезисторов, обеспечивающая снижение погрешности.

Измерение давления в кислородных магистралях жидкостных ракетных двигателей типа РД-180, как правило, производится серийно выпускаемыми датчиками давления Вм 212. Анализ получаемых результатов при испытаниях двигателей показывает, что погрешность датчика может достигать 30–40%. Такой показатель погрешности – следствие воздействия на датчик тепловых потоков нестационарного характера. Они могут проходить со стороны подмембранной полости при поступлении хладагента, со стороны корпуса двигателя в результате его нагрева или охлаждения потоками жидкости или газа, со стороны кабельной перемычки при обдуве газом, температура которого существенно отличается от температуры корпуса датчика.

С помощью программного комплекса "Термоудар" были проведены моделирование и исследование нестационарных температурных деформационных процессов, и в результате сделаны следующие выводы и предположения:

- воздействие нестационарных тепловых потоков на датчик вызывает перепад температур в зоне расположения тензорезисторов, значение которого зависит от уровня измеряемого давления;
- максимальный перепад температур приходится на низкие уровни измеряемых давлений и составляет около 70°C в первую секунду подачи хладагента в приемную полость датчика;
- время установления теплового баланса в зоне расположения тензорезисторов зависит от уровня измеряемых давлений и колеблется от 3600 с (при низких давлениях) до 60 с при высоких давлениях;
- максимальное значение тепловой деформации отмечается в первые секунды подачи хладагента и составляет $1 \cdot 10^{-4}$.

Решение задачи по уменьшению погрешности датчика Вм 212 в общем случае сводится к максимально возможному снижению теплообмена между чувствительным элементом и действующими на датчик тепловыми потоками, а также к изготовлению тензорезисторов на основе материалов и технологии, обеспечивающих температурный коэффициент сопротивления (ТКС) не хуже $1 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$, и к изготовлению упругого элемента из эливарных сплавов.

Проведенные эксперименты показали, что разница температур в зонах расположения тензорезисторов, работающих на растяжение и сжатие, для существующей конструкции сохраняется в течение всего времени работы двигателя. Кроме того, радиальные деформации, возникающие в первую секунду от воздействия термоудара, приводят к дополнительной, приблизительно 10%-ной, погрешности.

Д.Тихомиров

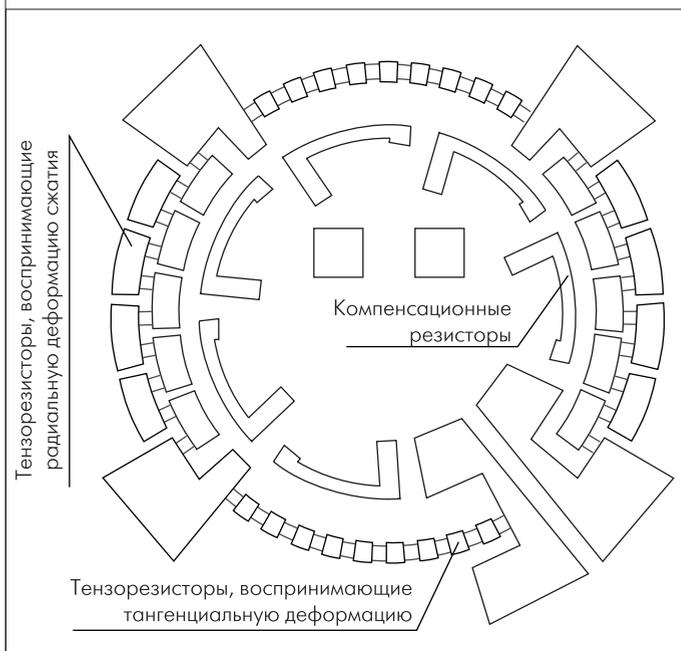
Для устранения разницы температур между тензорезисторами сжатия и растяжения предложена топология, изображенная на рисунке. Новое расположение тензорезисторов обеспечивает целый ряд преимуществ:

- все тензорезисторы расположены в слое с одинаковой температурой на протяжении всего времени работы датчика;
- радиальные тензорезисторы воспринимают практически пиковые деформации;
- тангенциальные тензорезисторы нагружены очень малыми деформациями растяжения – только за счет поперечного эффекта;
- динамический коэффициент запаса прочности тензорезистивной схемы выше в 2–2,5 раза по сравнению с базовой схемой;
- деформация от воздействия термоудара в начальный момент и во времени практически одинакова для всех тензорезисторов.

Данная топология использована в физической модели датчика.

Его отличительные особенности сводятся к следующему:

- по присоединительным размерам новый датчик соответствует датчику Вм 212;
- чувствительный элемент датчика выполнен из эливарного сплава ВУС-22 с термонеинвариантным модулем упругости;
- датчик имеет вакуумированную замембранную полость;
- вылет датчика относительно установочной поверхности по сравнению с датчиком Вм 212 уменьшен в 1,5 раза;



Монолитный пьезопреобразователь для резонансного датчика уровня



- в приемной полости датчика имеется ввертное сужающее устройство;
- кабельная перемычка имеет четыре провода (вместо пяти);
- подгонка начального разбаланса осуществляется шунтированием одного из плеч моста;
- ТКС тензорезисторов ограничен значением не более $3,5 \cdot 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$;
- кольцевая проточка на чувствительном элементе выполнена с минимально возможным сечением.

На изготовленных десяти опытных образцах Вм 212-1А УТ были проведены испытания в диапазонах измеряемого давления 0–1250 и 0–28 кг/см², которые позволили сделать следующие выводы:

- принятые технические решения по снижению погрешности датчика типа Вм 212 при действии на него нестационарных тепловых процессов вполне оправданны;
- применение сплава ВУС-22 снижает температурную погрешность чувствительности не менее чем на порядок;
- расчетные значения чувствительности датчика хорошо совпадают с экспериментальными данными (сходимость 5 %);
- опытные образцы нового датчика соответствуют всем ТУ на датчик Вм 212, включая требование по виброустойчивости (амплитуда вибрации до 600 g в частотном диапазоне до 3 кГц). Проведение испытаний на вибропрочность при воздействии вибраций уровнем 1600 g в частотном диапазоне до 10 кГц возможно только при натурных испытаниях у заказчика;
- при обеспечении ТКС тензорезисторов в $1 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ отпадает необходимость температурной настройки датчиков. ○