

УДК 621.43.016.4(031)

**В. А. Куликов**, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

**В. Н. Сяктерев**, кандидат технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

**С. Г. Селетков**, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА МОНТАЖА ПЕРВИЧНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ИСПЫТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

*Представлены способы монтажа терморезисторов в теле деталей двигателей внутреннего сгорания, предельные значения ошибок шунтирования и экспериментальные результаты по сопротивлению изоляции различных клеевых соединений.*

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, измерение температуры, способ монтажа терморезисторов.

При измерении температуры подвижных деталей с использованием автоматизированных измерительных систем с бесконтактными методами передачи информации наибольшее применение в качестве первичных измерительных преобразователей получили малогабаритные полупроводниковые терморезисторы, например типа СТ1-19 [1]. Основными особенностями данных терморезисторов, накладывающими существенные ограничения на выбор способа монтажа и схемы их включения в измерительную цепь, являются: защита чувствительного элемента слоем стекла, экспоненциальный характер зависимости сопротивления от температуры и большой динамический диапазон изменения сопротивления (единицы кОм – сотни МОм). В связи с этим для сведения к минимуму методических ошибок измерений температуры необходимо обеспечивать наилучший тепловой контакт чувствительного элемента терморезистора с материалом детали и исключить шунтирование сопротивления терморезистора клеевыми соединениями, используемыми при его монтаже на детали.

Для решения первой задачи были исследованы несколько различных вариантов монтажа терморезисторов СТ1-19 в теле поршня различных типов двигателей внутреннего сгорания. На рис. 1 представлен наиболее распространенный способ монтажа терморезисторов в теле исследуемой детали.

В данном случае установку терморезисторов производят в глухое отверстие, высверленное в теле поршня. Обеспечение надежного теплового контакта чувствительного элемента 1 с материалом поршня 6 осуществляется поджатием терморезистора трубкой 3, выполненной из материала с высокой теплопроводностью. При поджатии терморезистора из отверстия выдавливается лишний клей 5 и заполняются все пустоты в отверстии, исключая образование воздушных пузырьков, увеличивающих термическое сопротивление от детали к чувствительному элементу терморезистора.

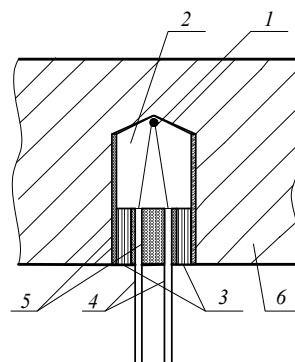


Рис. 1. Способ установки терморезистора: 1 – чувствительный элемент; 2 – стеклянная изоляция; 3 – уплотнительная трубка; 4 – выводы; 5 – клей; 6 – тело поршня

В некоторых случаях наиболее удобным являются способы монтажа терморезисторов в предварительно изготовленные корпуса, выполненные из материала детали. Для обеспечения теплового контакта чувствительного элемента с материалом детали корпуса терморезистор заливается металлом-наполнителем с температурой плавления выше, чем максимальная ожидаемая температура в зоне измерения. При термометрировании поршней двигателей, выполненных из алюминиевых сплавов, в качестве металла-наполнителя можно использовать свинец, имеющий температуру плавления  $+327^{\circ}\text{C}$ .

Если схема включения терморезистора в измерительную цепь позволяет соединить один из выводов терморезистора с корпусом исследуемой детали, предпочтительнее использовать способ монтажа, когда один из выводов терморезистора замыкается в отверстии металлом-наполнителем на корпус. В этом случае терморезистор имеет один вывод, который прокладывается к измерительной схеме с минимумом искажения температурного поля исследуемой детали.

О дополнительной погрешности измерений, вызываемой эффектом шунтирования цепи терморези-

стора клеевыми соединениями, можно судить по выражению

$$\delta = \frac{\Delta R - \Delta R'}{\Delta R}, \quad (1)$$

где  $\Delta R$  и  $\Delta R'$  – изменения сопротивлений измерительной цепи, состоящей из одного терморезистора и параллельно включенных сопротивлений терморезистора и эквивалентного сопротивления клея соответственно под воздействием температуры.

Зависимость сопротивления терморезистора СТ1-19 от температуры описывается выражением [2]

$$R_T = R_\infty e^{B_m/T}, \quad (2)$$

где  $R_\infty$  и  $B_T$  – постоянные коэффициенты.

Как показали экспериментальные исследования, подобным выражением можно аппроксимировать и температурные зависимости сопротивления изоляции клеевых соединений на эпоксидной основе с наполнителями из алюминиевой пудры и, в частности, широко используемого в двигателестроении клея УП5-207.

Продифференцировав выражения для сопротивления измерительной цепи по температуре  $T$  без учета и с учетом сопротивления клея и, перейдя к конечным приращениям, получим:

$$\Delta R = -\frac{R_T B_T \Delta T}{T^2}, \quad (3)$$

$$\Delta R' = -\frac{R_T R_k (R_T B_k + R_k B_T) \Delta T}{T^2 (R_T + R_k)^2}, \quad (4)$$

где  $B_k$  – постоянный коэффициент для клея;  $R_k$  – эквивалентное сопротивление клея, шунтирующее измерительный терморезистор.

Тогда формула (1) для оценки погрешности от шунтирующего влияния клеевых соединений на сопротивление терморезистора запишется в виде

$$\delta = 1 - \frac{\frac{R_k}{R_T} + \frac{B_k}{B_T}}{2 + \frac{R_k}{R_T} + \frac{R_T}{R_k}}. \quad (5)$$

Предельные оценки зависимости (5) показывают, что погрешность шунтирования будет стремиться к минимуму при возрастании  $R_k$ , то есть при увеличении сопротивления изоляции. Однако выпускаемые отечественной промышленностью высокотемпературные клеи не удовлетворяют данному требованию [3]. Поэтому на погрешность измерения температуры существенным образом будет влиять не только тип используемого клея, но и конкретные значения  $R_k$  в зоне измерения температуры и их распределение по длине выводов терморезистора, проложенных от места его монтажа к точке подключения измерительной цепи. При этом следует отметить, что температура по длине выводов непостоянна

и зависит в каждом случае от условий монтажа. В связи с этим для оценки погрешности от шунтирующего влияния клеевых соединений в выражении (5) вместо постоянной величины  $R_k$  необходимо использовать величину  $R_{k,общ}$ , учитывающую общее эквивалентное сопротивление участков клея, включенных параллельно.

Как показывают расчеты, в случае линейного распределения температур по длине выводов терморезистора и значениях конечных температур  $+300$  °С (в зоне измерения) и  $+150$  °С (в зоне подключения выводов к измерительной цепи) для клея УП5-207 значение сопротивления  $R_{k,общ}$  составляет 15,9 кОм при длине выводов 100 мм. При сопротивлении терморезистора 2,6 кОм (номинал 150 кОм) погрешность измерений достигает 42 °С, что является недопустимым.

Уменьшить погрешность измерений температуры можно, если при монтаже терморезистора получить распределение температуры по длине выводов близкое к гиперболическому при данном типе клея или же использовать более совершенные высокотемпературные изоляционные материалы.

Первый метод снижения погрешности возможен, если выводы терморезистора проклеивать перпендикулярно изотермам в теле детали. Однако, как показывают расчеты, с использованием клея УП5-207 погрешностью шунтирования можно пренебречь, если температура клея на 100 °С меньше, чем температура в зоне измерений. Естественно, в поршнях из алюминиевых сплавов такие градиенты температур на расстоянии нескольких миллиметров не обеспечиваются, и поэтому необходимо расчетно-экспериментальным путем производить оценку погрешности шунтирования.

В связи с этим проведены специальные экспериментальные исследования по измерению сопротивления изоляции различных комбинаций клеевых соединений при разных способах монтажа выводов терморезисторов.

Исследуемые образцы представляли собой очищенные от лаковой изоляции медные проводники длиной 100 мм с соответствующим способом изоляции, приклеенные на алюминиевую пластину. Пластина с образцами помещалась в термостат и подвергалась выдержке при разных температурах в диапазоне до  $+300$  °С с шагом 10 градусов. В эксперименте проводилось одновременное измерение сопротивления изоляции между проводниками в каждом образце и относительно каждого проводника и пластины.

В результате измерений установлено, что сопротивление каждого проводника относительно пластины на 1...2 порядка выше, чем сопротивление между проводниками в каждом исследуемом варианте. Поэтому при оценке погрешностей влиянием этого сопротивления можно пренебречь. Результаты измерений сопротивлений между проводниками представлены на графиках (рис. 2).

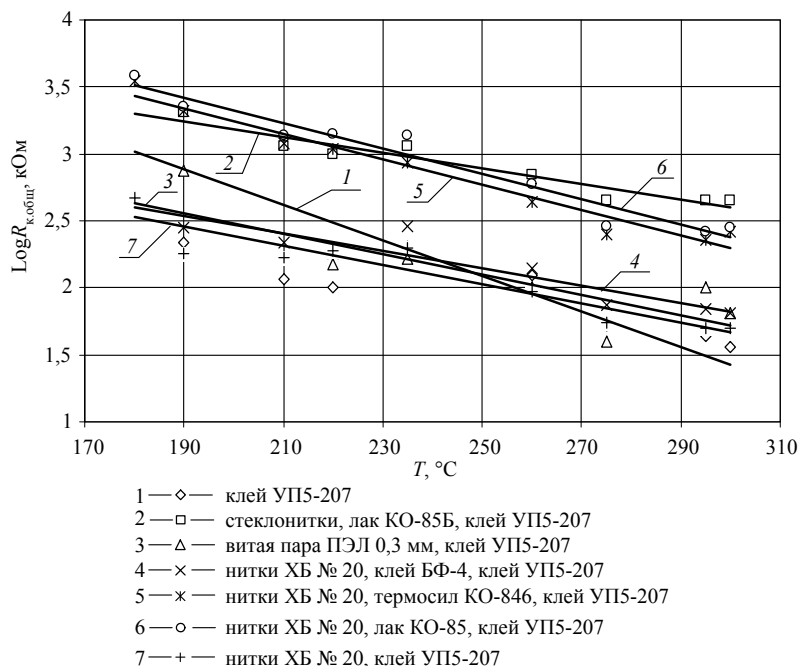


Рис. 2. Зависимость сопротивления изоляции от температуры

Как видно из результатов, высокими изоляционными свойствами обладают варианты 2, 5, 6 в сравнении с вариантами 1, 3, 4 и 7. Однако использование даже вариантов 2, 5 и 6 при температурах выше  $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$  может привести к большим погрешностям измерений. Поэтому проведены исследования с изоляцией выводов терморезистора фторопластовыми трубками из материала Ф-4Д, которые приклеивались к пластине клеем УП5-207. Для данного варианта сопротивление изоляции в диапазоне температур до  $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$  выше 10 МОм. Однако технология монтажа терморезисторов при этом существенно усложняется, так как фторопласт имеет плохую адгезию к эпоксидным клеям. Поэтому перед монтажом поверх фторопласта необходимо навивать на выводы терморезистора хлопчатобумажные нитки или стеклонитки. Последнее существенно увеличивает эффективный диаметр выводов терморезисторов и при большом количестве устанавливаемых терморезисторов возникает задача учета дополнительной погрешности, связанной с искажением температурного поля детали. Для снижения этой погрешности можно использовать способ монтажа, когда один из выводов терморезистора замыкается на корпус металлом-наполнителем.

Таким образом, в результате проведенных оценок влияния монтажа терморезистивных измерительных

преобразователей на точность измерения температуры установлено следующее.

1. В процессе монтажа необходимо обеспечивать наилучший тепловой контакт с деталью чувствительного элемента терморезистора с использованием металла-наполнителя.

2. При прокладке выводов терморезисторов по детали для снижения погрешности шунтирования необходимо использовать фторопластовую изоляцию.

3. Для снижения погрешности измерений выводы терморезисторов необходимо прокладывать перпендикулярно изотермам детали. При этом оценку погрешностей измерений можно производить по предложенной методике с использованием экспериментальных данных по параметрам применяемого клея.

#### Библиографические ссылки

1. Ключников Г. М., Сяктерев В. Н., Кондратьев В. Н. Телетрическая система с оптическим каналом связи для измерения параметров подвижных деталей // Двигательостроение. – 1983. – № 11. – С. 14–17.
2. Зайцев Ю. В. Полупроводниковые резисторы. – М.: Энергия, 1969. – 48 с.
3. Справочник по клеям / составители: Л. Х. Айраптян, В. Д. Заика. – Л.: Химия, 1980. – 304 с.

V. A. Kulikov, DSc, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

V. N. Syakterev, PhD, Assistant Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

S. G. Seletkov, DSc, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

#### Research of Influence of Primary Measuring Converters Installation Method on Temperature Measurement Accuracy in Automated Test Systems of Internal Combustion Engines

The paper presents methods of thermoresistors installation inside the body of internal combustion engine parts. Limiting values of shunting errors and experimental results on resistance of isolation for various glutinous connections are given.

**Key words:** internal combustion engine, temperature measurement, methods of thermoresistors installation.