

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

В. В. Сяктерева, кандидат технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДВИЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ

Представлены результаты моделирования температурного поля поршня двигателя внутреннего сгорания при измерении температуры полупроводниковыми терморезисторами.

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

При доводке новых и совершенствовании существующих двигателей внутреннего сгорания (ДВС) большое внимание уделяется исследованию теплового состояния основных деталей и узлов кривошипно-шатунного механизма, особенно актуальна эта задача для поршня.

В последние десятилетия широкое применение для измерения температуры поршня ДВС находят телеметрические системы измерений с использованием оптического канала связи первичного преобразователя, расположенного на поршне и установленной стационарно измерительной аппаратурой [1, 2].

Состав функциональных блоков варианта такой телеметрической системы и связи между ними представлены структурной схемой на рис. 1. Здесь блоки, обведенные пунктирной линией, установлены на поршне. Оптико-электронный преобразователь и измерительно-регистрающая аппаратура размещены стационарно, например, в картере двигателя.

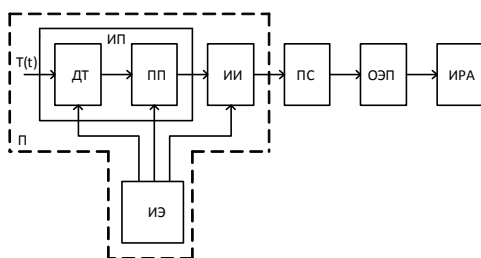


Рис. 1. Структурная схема системы измерений температуры поршня: $T(t)$ – исследуемый процесс; ДТ – датчик температуры; ПП – промежуточный преобразователь; ИП – измерительный преобразователь; ИИ – источник излучения; ПС – промежуточная среда; ОЭП – оптико-электронный преобразователь; ИРА – измерительно-регистрающая аппаратура; ИЭ – источник энергопитания; П – поршень ДВС

Промежуточная среда представляет собой топливо-воздушный туман подпоршневого пространства, через который излучение от источника излучения передается на оптико-электронный преобразователь.

Функция преобразования системы измерений может быть представлена в виде последовательного графа

$$T(t) \rightarrow h_{\text{ДТ}}(t) \rightarrow h_{\text{ИП}}(t) \rightarrow h_{\text{ИИ}}(t) \rightarrow h_{\text{ПС}}(t) \rightarrow h_{\text{ОЭП}}(t) \rightarrow h_{\text{ИРА}}(t),$$

где $h_{\text{ДТ}}(t)$, $h_{\text{ИП}}(t)$, $h_{\text{ИИ}}(t)$, $h_{\text{ПС}}(t)$, $h_{\text{ОЭП}}(t)$, $h_{\text{ИРА}}(t)$ – функциональные характеристики преобразования соответствующих блоков системы измерений.

Граф преобразования системы измерений показывает, что погрешность измерения температуры поршня ДВС складывается из погрешностей отдельных ее блоков. Корректный подход к проектированию подобных систем измерений должен включать выявление блоков, требования по точности к которым наиболее сложно удовлетворимы.

Как следует из представленной на рис. 1 структурной схемы, наиболее сложными для реализации и определяющими минимально достижимую погрешность являются блоки, расположенные на поршне двигателя, и блоки, осуществляющие передачу и прием информации в стационарную часть системы.

Анализ источников погрешностей данных блоков и методов их снижения приведен в работах [2, 3, 4]. Показано, что вклад погрешностей поршневых блоков с использованием современной элементной базы не превышает ± 1 К. Это удовлетворяет требованиям к точности измерения температуры поршня работающего двигателя [5].

В приведенных работах и в других подобных исследованиях не рассмотрены погрешности, связанные с непосредственным преобразованием температуры поршня в сигнал измерительной информации, то есть с возможными погрешностями, возникающими с использованием конкретных типов датчиков температуры.

Как показано в работах [2, 3], наиболее пригодны для использования в качестве датчиков температуры

полупроводниковые терморезисторы типа СТ1-19, имеющие малые габариты и позволяющие измерять температуру до +350 °С. Однако эти терморезисторы имеют нелинейную характеристику преобразования и для их применения необходимо использовать корректирующие цепи для линеаризации характеристики преобразования и индивидуальную градуировку [2].

Кроме того, использование контактных датчиков основано на том, что чувствительный элемент датчика должен находиться в условиях термодинамического равновесия с исследуемым объектом [6, 7]. Только в этом случае температура чувствительного элемента датчика равна действительной температуре объекта. Несоблюдение этого принципа контактной термометрии, характерное для реальных условий измерения температуры поршня ДВС, приводит к возникновению методической погрешности.

В реальных измерениях для снижения этих погрешностей необходимо применять специальные способы монтажа первичных преобразователей, как это показано в работе [8], при измерении температуры поршня ДВС.

Другой особенностью использования терморезисторов СТ1-19 при измерении температуры поршня ДВС является существенное отличие теплофизических характеристик чувствительного элемента и материала корпуса терморезисторов от соответствующих характеристик материала поршня, что может привести к дополнительным методическим погрешностям в измерении температуры поршня. С учетом сказанного, количественный анализ методических погрешностей при измерении температуры поршня ДВС с использованием в качестве датчиков температуры полупроводниковых терморезисторов в конечном итоге заключается в обосновании и выборе математической модели, определяющей процесс взаимодействия объекта исследования с датчиком температуры, происходящий до и после установки и монтажа терморезистора в теле поршня.

Провести такой анализ в форме, удобной для инженерных расчетов, возможно лишь в ограниченном числе случаев при ряде допущений относительно выбора тепловых моделей исследуемого тела и теплоприемника [6]. В связи с этим для анализа подобной задачи при измерении температуры поршня ДВС целесообразно применение метода электротепловой аналогии.

На рис. 2 представлен наиболее распространенный способ монтажа терморезисторов в теле поршня ДВС [8].

Для упрощенного анализа тепловой модели взаимодействия датчика температуры с телом поршня в соответствии с рис. 2 целесообразно рассмотреть установку датчика в центре днища поршня. Поскольку объектами цилиндрической формы, то может быть использована плоская модель по двум координатам – оси и радиусу. Порядок составления и методика расчета параметров ячеек модели, представляющих собой резистивно-емкостные цепи, приведены в [9, 10].

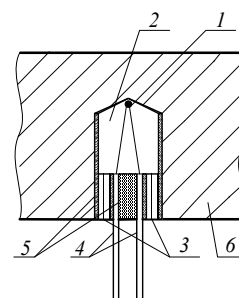


Рис. 2. Способ установки терморезистора: 1 – чувствительный элемент; 2 – стеклянная изоляция; 3 – уплотнительная трубка; 4 – выводы; 5 – клей; 6 – тело поршня

Структурная схема модели, исходя из описанных особенностей конструкции терморезистора и поршня, в выбранной системе координат представлена на рис. 3.

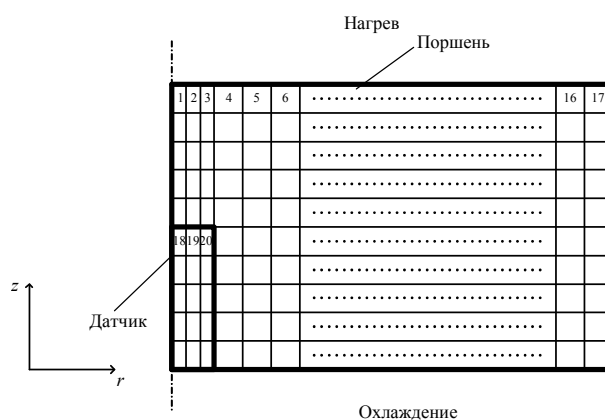


Рис. 3. Структурная схема модели датчик температуры – поршень

Ячейки 1...17 соответствуют элементарным объемам поршня, 18...20 – относятся к датчику температуры. В соответствии с алгоритмом составления электрических моделей тепловых процессов ячейка, соответствующая элементарному объему, имеет вид, представленный на рис. 4.

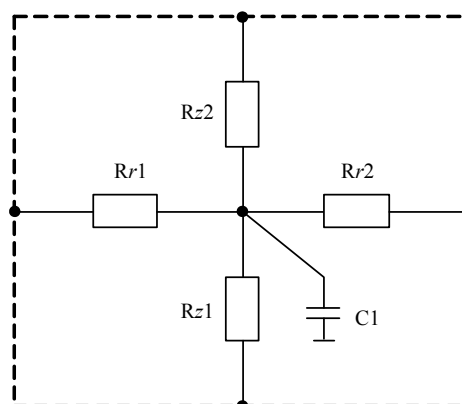


Рис. 4. Схема ячейки модели: $Rz1, Rz2$ – половины термического сопротивления между гранями ячейки вдоль оси z ; $Rr1, Rr2$ – доли термического сопротивления между внутренней и внешней поверхностями кольца вдоль оси r ; $C1$ – теплоемкость объема элементарной ячейки

На рис. 5 представлено полученное распределение температуры головки поршня до (рис. 5, а) и после (рис. 5, б, в) установки датчиков температуры в тело поршня. Причем в случае на рис. 5, б датчик заглублен в поршень на 5 мм, а в случае на рис. 5, в – на 9 мм. Моделирование проводилось в среде Micro-Cap с использованием граничных условий теплообмена, полученных в работе [11] для тонкостенных поршней из алюминиевых сплавов.

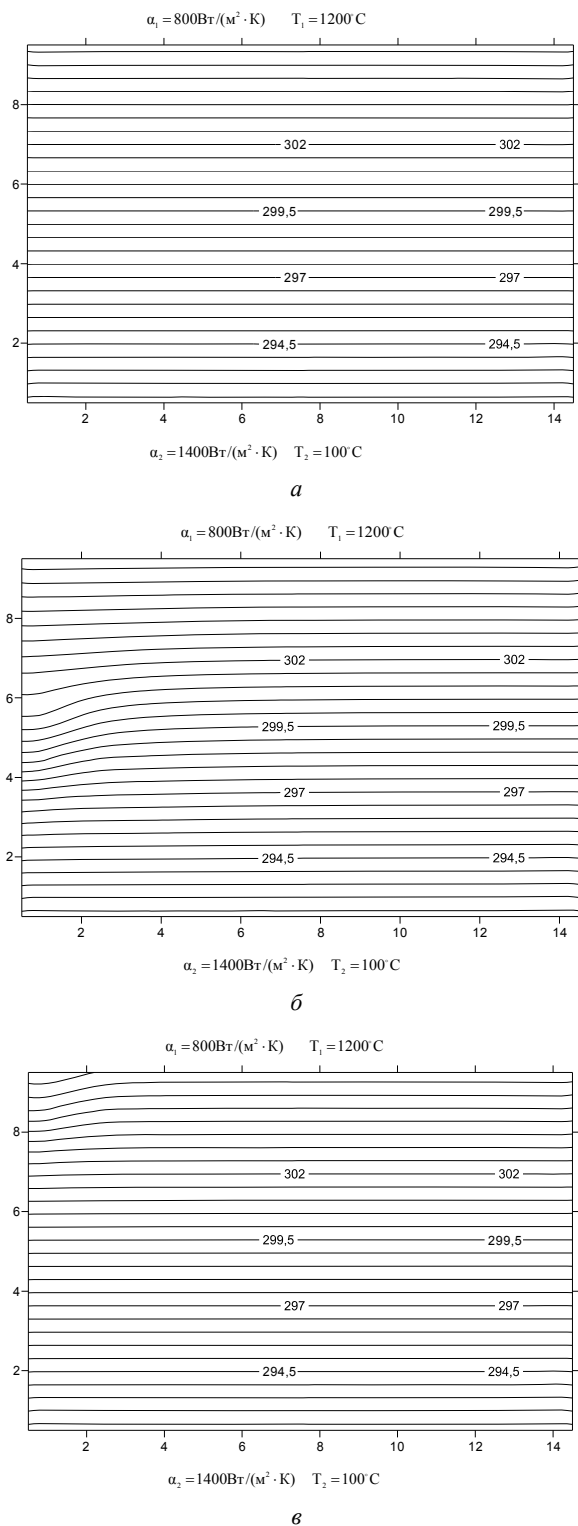


Рис. 5. Температурное поле головки поршня

Характер распределения температур в модели головки поршня без установки датчиков температуры соответствует характеру распределения температурных полей, приведенных в работе [11], что подтверждает адекватность разработанной модели. Установка датчиков температуры (полупроводниковых терморезисторов СТ1-19) вносит неравномерность распределения температуры головки поршня двигателя. Превышение температуры в чувствительной зоне датчиков достигает 0,5...0,6 К и несколько повышает общий уровень температуры поршня, что и может являться абсолютной методической погрешностью измерения температуры поршня ДВС из алюминиевых сплавов с использованием в качестве датчиков температуры полупроводниковых терморезисторов СТ1-19.

Изменения глубины установки датчика в теле поршня (рис. 5, в) и граничных условий теплообмена поршня, как со стороны нагрева, так и со стороны охлаждения, в достаточно широких пределах (до 20 %) не оказывает влияния на изменение абсолютных значений погрешности измерения.

Таким образом, основной вклад в погрешность измерения вносит отличие теплофизических характеристик материалов поршня и датчика температуры. Полученное значение погрешности 0,6 К является приемлемым, поэтому полупроводниковые терморезисторы СТ1-19 могут использоваться в системах термометрирования ДВС.

Библиографические ссылки

1. Ключников Г. М., Сяктерев В. Н., Кондратьев В. Н. Телеметрическая система с оптическим каналом связи для измерения параметров подвижных деталей // Двигательостроение. – 1983. – № 11. – С. 14–17.
2. Куликов В. А., Сяктерев В. Н. Градуировка автоматизированной системы температурных испытаний поршня двигателя внутреннего сгорания // Вестник ИжГТУ. – 2012. – № 1(53). – С. 92–95.
3. Сяктерев В. Н., Сяктерева В. В., Акчурун И. С. Исследование возможности применения микроконтроллеров PIC в системах термометрирования поршня двигателя // Вестник ИжГТУ. – 2013. – № 2(54). – С. 105–108.
4. Сяктерев В. Н., Васильев И. А. Исследование индуктивного канала энергоснабжения телеметрической системы термометрирования поршня двигателя внутреннего сгорания // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 1. – С. 152–156.
5. Костин А. К., Ларионов В. В., Михайлов Л. И. Теплонапряженность двигателей внутреннего сгорания. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд., 1979. – 222 с.
6. Ярышев Н. А. Теоретические основы измерения нестационарных температур. – 2-е изд., перераб. – Л. : Энергоатомиздат, Ленингр. отд., 1990. – 256 с.
7. Точность контактных методов измерения температуры / А. Н. Гордов, Я. В. Малков, Н. Н. Эргардт, Н. А. Ярышев. – М. : Изд-во стандартов, 1976. – 232 с.
8. Куликов В. А., Сяктерев В. Н., Селетков С. Г. Исследование влияния способа монтажа первичных измерительных преобразователей на точность измерения температуры в автоматизированных системах испытания двигателей внутреннего сгорания // Вестник ИжГТУ. – 2012. – № 2(54). – С. 122–124.

9. Куликов А. В. Разработка малогабаритных термопреобразователей сопротивления для систем температурной диагностики в судебной медицине : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 2006. – 24 с.

10. Сяктерева В. В., Зылёв А. А., Куликов В. А. Электротепловое моделирование системы «датчик – среда» при измерении теплопроводности грунта // Вестник ИжГТУ. – 2009. – № 2. – С. 115–119.

11. Корепанов Е. В., Сяктерев В. Н. Расчетно-экспериментальный метод исследования теплоотдачи поршней мотоциклетных двигателей внутреннего сгорания // Гидродинамика течений с тепломассообменом : Межвуз. сб. научн. тр. / Ижевский механический институт. – Ижевск, 1989. – С. 135–139.

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

V. N. Syakterev, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

V. V. Syaktereva, PhD in Engineering, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Research of Influence of Systematic Errors on Measurement Accuracy of Moving Engine Components Temperature with Application of Telemetric Measurement Systems

Simulation results of the temperature field of the piston internal combustion engine when measuring the temperature of a semiconductor thermistors are presented in this article.

Key words: internal combustion engine, temperature measurement, methods of thermistor installation, measurement accuracy.

Получено 21.10.2014

УДК 681.518.3: 623.593.3

Е. М. Марков, кандидат технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

А. Ю. Вдовин, кандидат технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДРОВОГО ВЫСТРЕЛА НА ОСНОВЕ КАМЕРЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Представлены исследование и разработка аппаратной части мобильной телевизионной измерительной системы для проведения испытаний дробового оружия. Для построения системы предложены стандартные решения, используемые в области видеонаблюдения.

Ключевые слова: телевизионная измерительная система, дробовой выстрел, дробовое оружие.

Испытания дробового оружия можно проводить в закрытом тире, на открытом воздухе, но в любом случае остается проблема обработки результатов стрельбы. Обработать лист вручную с несколькими сотнями отметин в мишени от дробового выстрела даже с использованием упрощенных методик, сильно снижающих точность, трудоемко [1]. Разработка мобильной и доступной измерительной системы для оценки результатов дробового выстрела является актуальной задачей.

Одним из самых доступных способов построения системы для измерения параметров дробового выстрела является телевизионный [2, 3]. Состав такой системы можно представить из следующих частей: система формирования изображения, блок предварительной обработки изображения и интерфейс согласования с телевизионным датчиком, блок выделения и измерения параметров объектов на изображении, блок вычисления первичных и вторичных параметров дробового выстрела, блок хранения и вывода результатов измерения.

Самым доступным способом построения телевизионной измерительной системы (ТИС) является программный способ реализации большинства блоков и компонентов системы. Данный способ построения при использовании стандартных аппаратных компонентов позволяет существенно упростить структуру системы, ускорить разработку и уменьшить конечную стоимость. Упрощенная структура системы представлена на рис. 1.

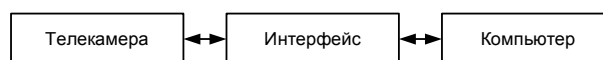


Рис. 1. Упрощенная структура системы

Для формирования требований к отдельным компонентам рассмотрим подробнее результат дробового выстрела по мишени. Стрельбу для проверки боя дробового оружия проводят дробью № 3, 5 или 7 на дистанции 35 м [1, 2]. Количество дробинок в снаряде определяется его весом (для 12-го калибра вес снаряда дробин составляет 32–36 г) и номером дроби (табл. 1).