

УДК 536.2

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ  
С ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА****В.А. Кораблев, Д.А. Минкин, А.Н. Соколов, А.В. Шарков**

Описана конструкция устройства для измерения тепловых потоков с поверхности тепловыделяющего элемента. Устройство позволяет измерять тепловые потоки в пределах от 5 до 100 Вт с погрешностью не более 10 %.

**Ключевые слова:** тепловой поток, измерительная система, калориметр.

**Введение**

В современных приборах происходят сложные преобразования энергии из одного вида в другой, в конечном итоге энергия переходит в теплоту, для отвода которой предназначены системы обеспечения теплового режима (СОТР). При экспериментальной отработке и тепловом моделировании СОТР аппаратуры измерение тепловых потоков от элементов поверхностей является важной задачей оптимизации СОТР. Для измерения тепловых потоков существуют устройства, реализующие различные методы: калориметрический, термоэлектрический, фотометрический, метод вспомогательной стенки [1]. Определять потоки энергии с помощью таких устройств возможно, однако не все они могут обеспечивать высокоэффективный теплоотвод с поверхности испытуемых приборов и аттестоваться как средства измерения.

В настоящей работе предложена конструкция устройства, реализующего калориметрический метод измерения теплового потока от поверхностей приборов в стационарном тепловом режиме.

**Конструкция**

Особенность разработанного устройства состоит в возможности измерять тепловые потоки с приборов, имеющих несколько теплоотводящих поверхностей. Это реализуется путем измерения тепловых потоков одновременно с нескольких участков. Принципиальная схема устройства измерения теплового потока (УИТП) для одной поверхности показана на рис. 1. В состав устройства входят термостат 1, ротаметр 2, калориметр 3, вольтметр 4, термометр дифференциальный 5, блок холодных спаев, блок переключения датчиков температуры. Калориметр, термостат и ротаметр соединены шлангами, образуя единый циркуляционный контур.

Калориметр представляет собой теплообменник, во входном и выходном сечениях которого установлены рабочие концы дифференциального термоэлектрического термометра. Теплообменник выполняется из меди М0 и состоит из двух деталей – основания и крышки. Для повышения перепада температур между рабочими спаями дифференциального термометра необходимо интенсифицировать теплообмен на исследуемой тепловыделяющей поверхности, поэтому на внутренней поверхности основания теплообменника выполнено оребрение, как показано на рис. 2. Основание представляет собой радиатор с прямоугольными ребрами, в каналах между которыми прокачивается теплоноситель. Параметры оребрения рассчитывались при наибольших допустимых значениях температур теплообменника и теплоносителя, максимальных тепловых потоках [2, 3].

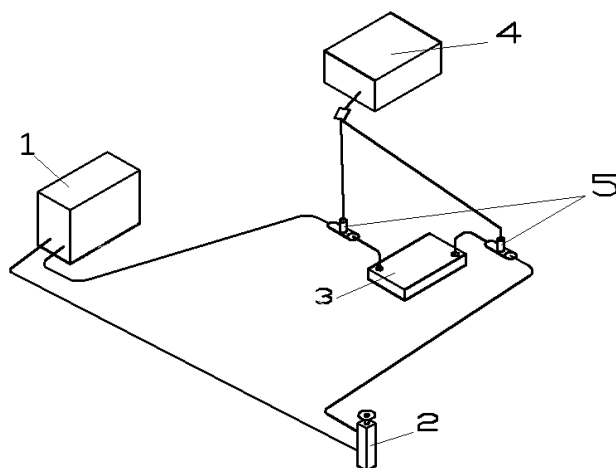


Рис. 1. Принципиальная схема устройства для измерения тепловых потоков:  
 1 – термостат ТЖ-ТС-01/12-100, 2 – ротаметр с регулировочным краном  
 РМА-01 0,0063 ЖУЗ, 3 – калориметр, 4 – цифровой вольтметр,  
 5 – термометр дифференциальный

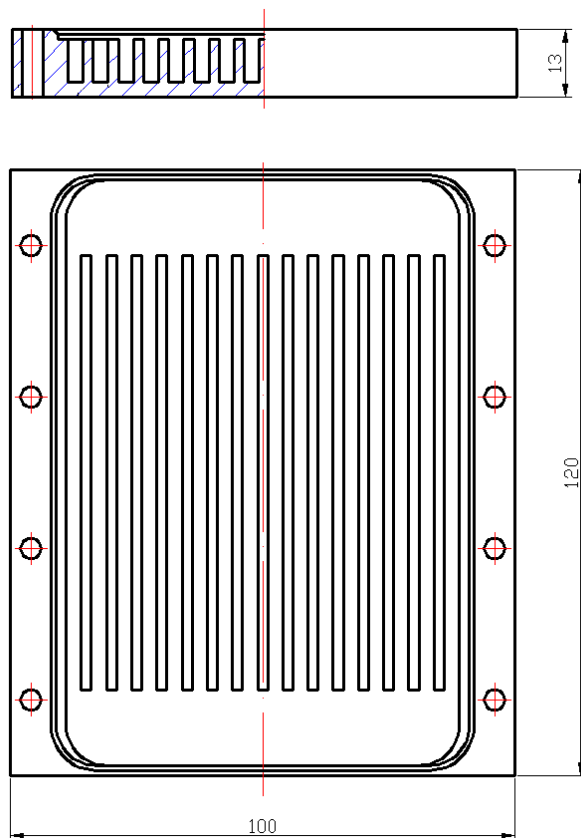


Рис. 2. Основание теплообменника

Термостат ТЖ-ТС-01/12-100 предназначен для поддержания заданной температуры на входе в устройство и прокачивания теплоносителя в циркуляционном контуре. Производительность насоса термостата составляет до 7 л/мин, точность поддержания температуры  $\pm 0,1$  °С. Термостаты такого типа зарегистрированы в Государственном реестре средств измерений под № 20444-02 и допущены к применению в Российской Федерации (сертификат № 13677).

Объемный расход измеряется с помощью ротаметров типа РМА-01 0,0063 ЖУЗ. Для определения величины расхода в паспорте прибора приведен градуировочный график. Ротаметр имеет следующие технические характеристики: максимальный расход по воде составляет 0,0063 м<sup>3</sup>/ч; температура измеряемой среды составляет от 5 до 50 °С; погрешность измерения расхода ±4 % от верхнего предела измерения. Каждый ротаметр при выпуске с производства прошел поверку в Федеральном государственном учреждении «Нижегородский центр стандартизации, метрологии и сертификации» и имеет свидетельство о поверке.

Перепад температуры между входом и выходом калориметра измеряется нестандартным термометрическим устройством – термостолбиком. Его основу представляет собой пятиспайная дифференциальная медь-константановая термопара. Использование многоспайной термопары обусловлено необходимостью повысить чувствительность при измерении малых перепадов температур. Рабочие спаи устанавливаются непосредственно в поток жидкости с помощью приспособления, конструкция которого представлена на рис. 3. Свободные концы термостолбика подключены к мультиметру типа Agilent 34405A. На термостолбик получен сертификат о калибровке средства измерения № Н241-3/1769. Калибровка проведена Федеральным государственным унитарным предприятием «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева». Погрешность измерения перепада температуры не более ±1 %.

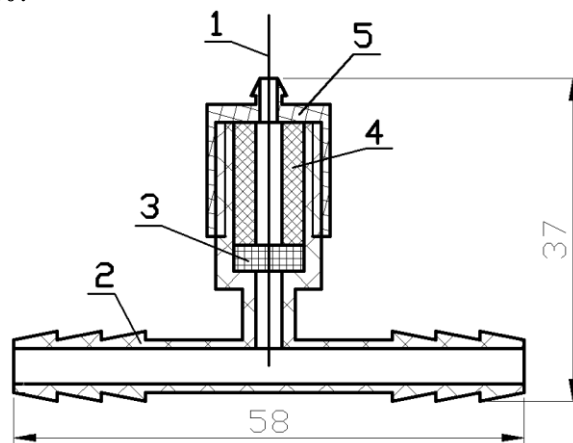


Рис. 3. Конструкция для монтажа дифференциального термометра: 1 – многоспайная термопара, 2 – фитинг, 3 – уплотнительная прокладка из вакуумной резины, 4 – втулка-толкатель из фторопласта, 5 – гайка

Блок переключения датчиков температуры предназначен для снятия показаний дифференциальных термометров на различных калориметрах.

### Измерение теплового потока

Тепловой поток, отводимый с тепловыделяющей поверхности устройств газовой криогенной машины, определяется по измеренным значениям расхода теплоносителя и перепада температуры. Формула для определения теплового потока имеет вид

$$\Phi = c_p \rho G_v (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}) = K G_v (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}), \quad (1)$$

где  $\Phi$  – измеренный тепловой поток, Вт;  $c_p$  – удельная теплоемкость жидкости, Дж/(кг·К);  $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $G_v$  – измеренный объемный расход жидкости, м<sup>3</sup>/с;  $t_{\text{вых}}$  – температура на выходе из калориметра, °С;  $t_{\text{вх}}$  – температура на входе в калориметр, °С;  $K = \rho \cdot c_p$  – градуировочный коэффициент [4].

Определение теплового потока в УИТП сопровождается рядом явлений, которые негативно сказываются на точности получаемых результатов: нестационарность процесса, наличие контактных тепловых сопротивлений. По этой причине в процессе подготовки УИТП к работе проводится ряд мер для снижения погрешности измерений. Все используемые измерительные приборы проходят государственную аттестацию, насос термостата включается в электрическую сеть через стабилизатор напряжения, калориметр устанавливается на теплоотводящую поверхность устройства газовой криогенной машины через пасту или теплопроводящую прокладку для исключения контактного теплового сопротивления, проводится калибровка УИТП.

Использование градуировочного коэффициента  $K$  позволяет повысить точность измерений. Из формулы (1) значение  $K$  вычисляется как:

$$K = \frac{\Phi_k}{G_v(t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}})}, \quad (2)$$

где  $\Phi_k$  – известное значение теплового потока, подаваемого на УИТП при калибровке, Вт.

### Заключение

Разработано и создано устройство для измерения теплового потока с приборов, имеющих несколько теплоотводящих поверхностей. На средства измерения в составе УИТП получены сертификат и свидетельство федерального агентства по техническому регулированию и метрологии.

Экспериментальные исследования показали, что УИТП отвечает предъявленным требованиям и может быть использовано для проведения тепловых испытаний объектов приборостроения. Устройство позволяет определять тепловые потоки в пределах от 5 до 100 Вт с погрешностью не более 10 %.

### Литература

1. Геращенко О.А. Современное состояние теплотриии в СССР // Инженерно-физический журнал. – 1990. – Т. 59. – № 3. – С. 516–522.
2. Керн Д., Краус А. Развитые поверхности теплообмена / Пер. с англ. – М.: Энергия, 1977. – 462 с.
3. Ройзен Л.И., Дулькин И.Н. Тепловой режим оребренных поверхностей. – М.: Энергия. 1977. – 256 с.
4. Калориметрия. Теория и практика / В. Хеммингер, Г. Хене. – М.: Химия, 1990. – Пер. изд.: ФРГ, 1984. –176 с.

<b>Кораблев Владимир Антонович</b>	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, ktf@grv.ifmo.ru
<b>Минкин Дмитрий Алексеевич</b>	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, mindim-spb@mail.ru
<b>Соколов Антон Николаевич</b>	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, dioux@rambler.ru
<b>Шарков Александр Ваасильевич</b>	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, sharkov@grv.ifmo.ru