

Экспериментальные исследования термоэлектрических теплообменных аппаратов проточного типа с тепловыми мостиками

Д-р техн. наук Т. А. ИСМАИЛОВ, канд. техн. наук О. В. ЕВДУЛОВ, Р. Ш. КАЗУМОВ

Дагестанский государственный технический университет

367015, г. Махачкала, проспект Имама Шамиля, 70

The paper presents the description of an experimental rig and a method of investigating thermal electric one-through type heat exchangers with thermal bridges, the results of measuring as well as their comparison with design data being analyzed.

Key words: heat exchangers, thermal bridges, cooling and heating media.

Ключевые слова: теплообменные аппараты, тепловые мостики, хладо- и теплоносители.

В настоящее время задача разработки эффективных теплообменных аппаратов, отличающихся высокой надежностью и значительным ресурсом работы, является все более необходимой и актуальной. Это связано с возрастающими требованиями к техническим, энергетическим и надежностным параметрам теплообменных аппаратов в приборах и комплексах различного назначения.

Среди существующего в настоящее время многообразия теплообменных аппаратов, функционирующих на основе различных физических эффектов, значительными преимуществами при отводимых мощностях в пределах 200–300 Вт обладают термоэлектрические теплообменные устройства. Теплообменные аппараты на их основе относятся к теплообменным аппаратам поверхностного рекуперативного типа и обладают следующими достоинствами:

- практически неограниченным ресурсом работы;
- отсутствием изнашивающихся и трущихся элементов, а значит, бесшумностью в работе, низким уровнем вибраций;
- экологической безопасностью;
- высокой функциональной гибкостью;
- высокой надежностью;
- выгодными массогабаритными характеристиками.

В лаборатории полупроводниковых термоэлектрических приборов и устройств Дагестанского государственного технического университета на основе теоретических основ функционирования термоэлектрических устройств с переменной температурой вдоль спаев, изложенных в [1], разработана конструкция термоэлектрического трубчатого теплообменного аппарата рекупера-

тивного типа с тепловыми мостиками. На внутреннюю стенку этого аппарата, разделяющую потоки с различными температурами, в промежутки между термоэлектрическими модулями (ТЭМ), составляющими термоэлектрическую батарею (ТЭБ), установлены тепловые мостики, изготовленные из высокотеплопроводного материала — меди. В настоящей статье представлены результаты экспериментальных исследований данной конструкции.

Для проведения эксперимента был разработан экспериментальный стенд, принципиальная схема которого приведена на рис. 1.

Теплообменный аппарат 1 подключен к контурам циркуляции хладо- и теплоносителя, в качестве которых используется вода, а также к регулируемому источнику постоянного тока 2. Ультратермостаты 3 и 4 поддерживают заданные температуры хладо- и теплоносителей на входах теплообменного аппарата с точностью 0,1 °С и обеспечивают их циркуляцию. Расходы по контурам хладо- и теплоносителей регулируются вентилями, расположенными на соответствующих ультратермостатах.

Регистрация текущих значений температур осуществляется измерительным комплексом ИРТМ 2402/МЗ 5, который подключается к ПЭВМ 6 и предусматривает возможность одновременного подсоединения до 24 датчиков температуры.

Объектом экспериментальных исследований являлся термоэлектрический теплообменный аппарат проточного типа, состоящий из двух стальных труб длиной 250 мм и внутренним диаметром 7 мм. Внешняя поверхность труб отшлифована в виде четырехгранника 20×20 мм.

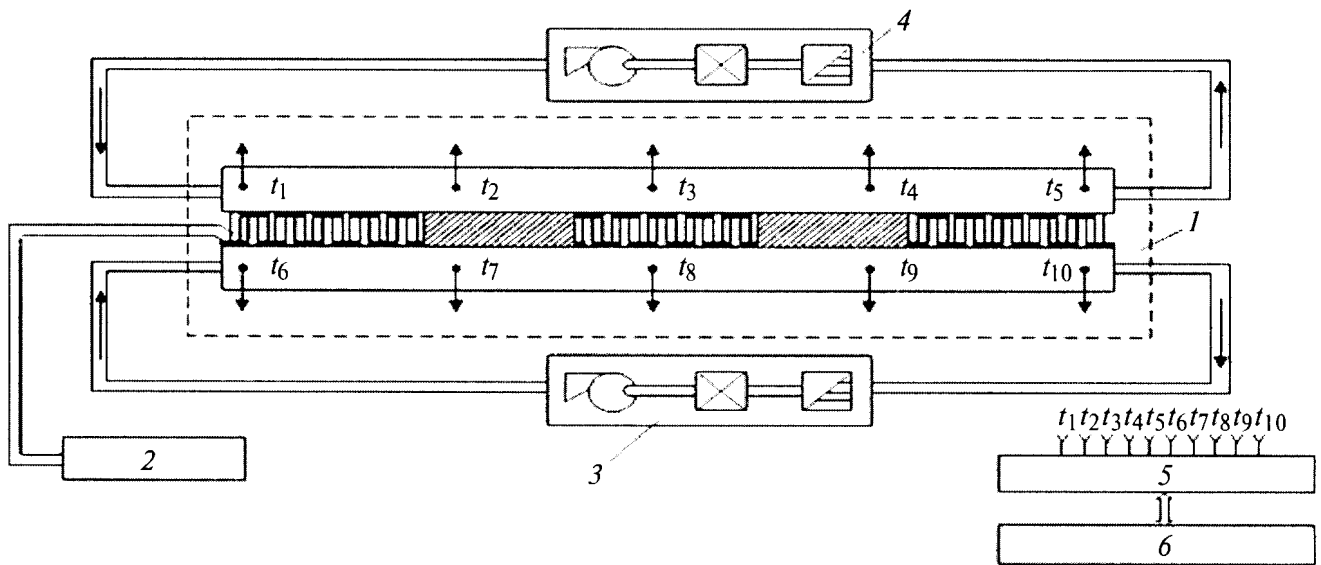


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального стенда:

1 — теплообменный аппарат; 2 — источник постоянного тока; 3, 4 — ультратермостаты; 5 — измерительный комплекс; 6 — ПЭВМ

В качестве ТЭМ использованы унифицированные ТЭМ типа БПТМ и модули, разработанные в лаборатории.

Электрически последовательно подключенные между собой ТЭМ и тепловые мостики через теплопроводную пасту КПТ зажаты между двумя трубами.

Для исключения теплообмена с внешней средой вся конструкция размещена в пенопластовом кожухе. На боковых гранях по длине труб установлены медь-константановые термопары $t_1 - t_{10}$, опорные спаи которых термостабилизированы при 0°C в сосуде Дьюара.

Экспериментальные кривые распределения температуры по длине были получены путем измерения температур в различных точках теплообменного аппарата:

- при разных коэффициентах заполнения полупроводниковыми модулями;
- при разных токах, протекающих через термоэлементы;
- для разных материалов тепловых мостиков.

Все эксперименты проводились при заданных постоянных температурах и расходах хладо- и теплоносителей на входах конструкции. Для этого в теплообменный аппарат сначала устанавливались только полупроводниковые ТЭМ в количестве 10 шт. (100 %-е заполнение ТЭМ, коэффициент заполнения $\xi = 1$).

С помощью ультратермостатов поддерживались заданные расходы и температуры хладо- и теплоносителей на входах. После стабилизации режима ультратермостатов (через 15–20 мин) на измерительном комплексе запускалась программа циклического опроса термопар с последующим выводом значений температуры на ПЭВМ. Одновременно теплообменный аппарат подключался к источнику постоянного тока, по измерительному прибору которого устанавливалась необходимая величина тока.

Изменение коэффициента заполнения осуществлялось следующим образом: после сборки устройства отключалась часть ТЭМ, оставшиеся модули раздвигались и распределялись по длине трубы равномерно, между ТЭМ устанавливались тепловые мостики, изготовленные из соответствующего материала (медь, алюминий, сталь), суммарная площадь которых была равна суммарной площади удаленных модулей. Для этого были изготовлены разные типоразмеры тепловых мостиков. Так, например, для получения 80 %-го заполнения ($\xi = 0,8$) из 10 ТЭМ удалялись два модуля, вместо них устанавливали два тепловых мостика, каждый из которых был равен $1/4$ части площади модуля.

На рис. 2 представлены результаты экспериментальных исследований теплообменного аппарата в стационарных режимах работы при различных коэффициентах заполнения ТЭМ и для сравнения — результаты теоретических расчетов (сплошная линия). При расчетах применены паспортные данные на теплофизические свойства полупроводникового вещества и характеристики ТЭМ, использованных в конструкции, геометрические параметры ветвей, величины контактных электрических и тепловых сопротивлений. Теплоемкости труб в расчетах не учитывались.

Из рис. 2 следует, что результаты расчетов и экспериментальные данные соответствуют друг другу. Максимальные количественные расхождения теоретических расчетов с экспериментальными результатами, не превышающие 12 %, наблюдались в начальном участке трубопроводов, что можно считать удовлетворительным. Как видно из рисунка, с увеличением коэффициента заполнения кривые распределения температур изменяются более круто, т. е. теплообменный аппарат работает эффективнее.

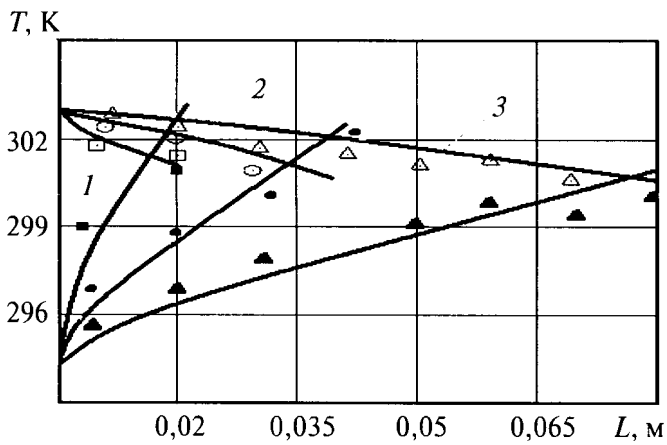


Рис. 2. Экспериментальные и теоретические зависимости температур теплоносителей на выходе из теплообменного аппарата от длины при различных коэффициентах заполнения: 1 — $\xi = 1,0$; 2 — $\xi = 0,5$; 3 — $\xi = 0,2$; ток питания ТЭМ $I = 1,8$ А

На рис. 3 приведены кривые распределения температуры по длине теплообменного аппарата при коэффициенте заполнения, равном $\xi = 0,2$, для тепловых мостиков, изготовленных из разных материалов: меди, алюминия и стали. Из представленных данных следует, что эффективность работы теплообменного аппарата несущественно зависит от материала тепловых мостиков, что подтверждается и результатами численного эксперимента.

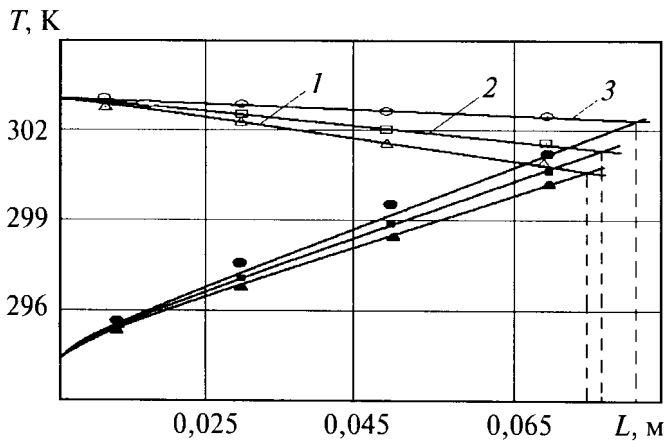


Рис. 3. Экспериментальные и теоретические зависимости температур теплоносителей на выходе из теплообменного аппарата от длины для тепловых мостиков, изготовленных из различных материалов: 1 — медь; 2 — алюминий; 3 — сталь; ток питания ТЭМ $I = 1,8$ А

На рис. 4 приведена зависимость длины ТЭБ при работе устройства в режиме интенсификации от тока питания при коэффициенте заполнения $\xi = 0,5$ для тепловых мостиков, изготовленных из меди. Как видно, увеличение тока питания уменьшает участок теплообменника, где

ТЭБ работает в режиме интенсификации теплообмена. Например, при повышении тока на 0,5 А для данных условий указанная длина уменьшается на 1,8 см.

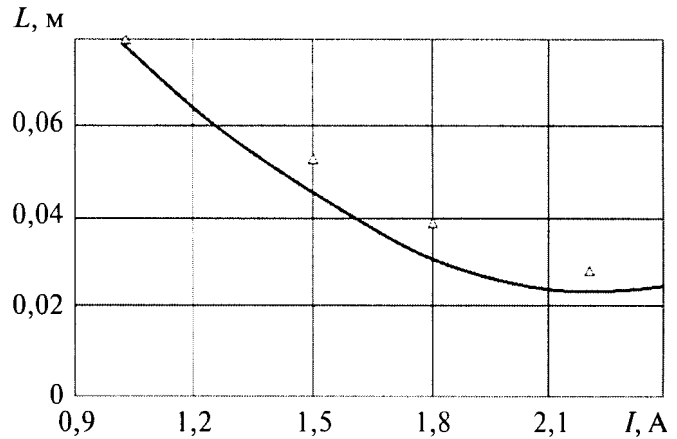


Рис. 4. Зависимость предельной длины ТЭБ в теплообменном аппарате от тока питания ($\xi = 0,5$; состав материала теплового мостика — медь)

На рис. 5 приведены экспериментальные зависимости изменения температуры в точке на расстоянии 1,5 см от начала входа в теплообменный аппарат от времени.

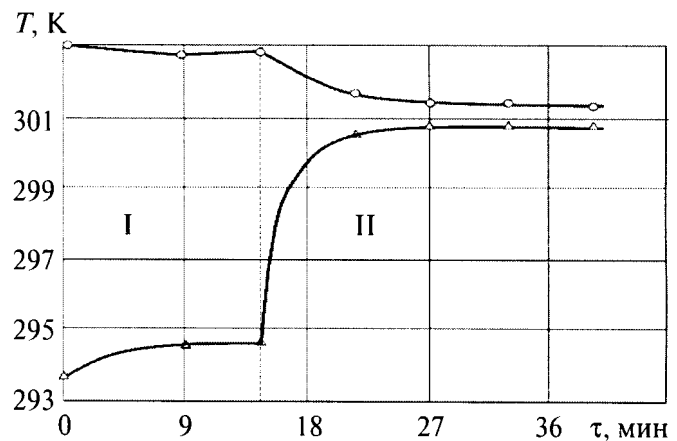


Рис. 5. Зависимость температур теплоносителей от времени: без ТЭБ (область I) и с включенной ТЭБ (область II) ($\xi = 0,8$; $L = 0,015$ м; $I = 1,8$ А; состав материала теплового мостика — медь)

В целом результаты экспериментальных исследований подтверждают правомочность разработанной математической модели [1].

Список литературы

1. Исмаилов Т. А. Термоэлектрические полупроводниковые устройства и интенсификаторы теплопередачи. — СПб.: Политехника, 2005.