

Экспериментальные исследования охлаждающей системы на базе сильноточных термоэлектрических батарей слоистой конструкции с цельнометаллическими теплопроводами

Д-р техн. наук Т. А. ИСМАИЛОВ,
канд. техн. наук О. В. ЕВДУЛОВ, Д. В. ЕВДУЛОВ
Дагестанский государственный технический университет
367015, г. Махачкала, проспект Имама Шамиля, 70

The paper presents results of an experimental study of a pilot cooling system based on a high-current laminated thermobattery with all-metal heat conductors. The experimental rig is described, the test procedure and the results of a full-scale test being given. The cooling system design proposed was stated to make possible mechanically flexible coupling of a cooled object and a heat sink system, as well as contacting with cooled (heated) object that is in an out-of-the way place, heat losses by switching elements being trivial.

Key words: cooling system, high-current thermobattery, all-metal heat conductors, experiment.

Ключевые слова: система охлаждения, сильноточная термоэлектрическая батарея, цельнометаллический теплопровод, эксперимент.

Продолжительной и устойчивой работы ряда приборов удается добиться, лишь создав им необходимые температурные условия. Как правило, температурные условия работы теплонагруженных приборов обеспечиваются специальными охлаждающими системами, холодильными установками. Последние весьма разнообразны, сложны и могут иметь значительные габариты, массу, энергопотребление. В значительном числе случаев масса, габариты, надежность терморегулирующих систем не всегда сравнимы с соответствующими показателями объектов охлаждения, особенно актуально это для микроминиатюрных устройств с высокими удельными тепловыми потоками. Решение задачи температурной стабилизации такой аппаратуры в этом случае может быть получено применением в качестве холодильных установок термоэлектрических устройств, оптимально сочетающихся с ней по важнейшим энергетическим и массогабаритным показателям.

Термоэлектрические устройства могут обеспечить охлаждение малогабаритных элементов различных аппаратных комплексов, являющихся элементами аппара-

туры с плотной упаковкой и расположенных в труднодоступных местах, при дистанционном разделении источника холода и тепловыделяющего элемента. В этом случае сопряжение охлаждающего устройства и тепловыделяющего элемента может быть осуществлено за счет гибких теплопроводов, изготовленных цельнометаллическими или в виде тепловых термосифонов.

В настоящей статье представлены результаты экспериментальных исследований опытного образца охлаждающей системы, в основу которой положена сильноточная слоистая термоэлектрическая батарея (ТЭБ) с цельнометаллическими теплопроводами [1]. Достоинством данной системы является возможность механической развязки объекта охлаждения, ТЭБ и системы теплосброса, а также простота сопряжения с охлаждаемым (нагреваемым) объектом, размещенным в труднодоступных местах, в том числе являющимся составной частью блока с плотной упаковкой элементов или размещаемым в герметичном объеме.

Конструкция слоистой ТЭБ приведена на рис. 1.

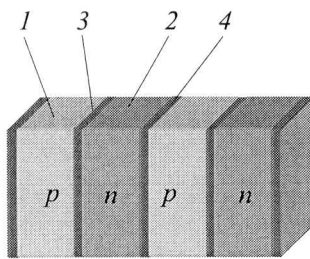


Рис. 1. Конструкция слоистой ТЭБ

Она содержит последовательно соединенные в электрическую цепь полупроводниковые термоэлементы (ТЭ), каждый из которых образован двумя ветвями, изготовленными из полупроводника соответственно *p*- и *n*-типа 1 и 2, соединенными медными коммутационными пластинами 3 и 4.

Данная система образует слоистую ТЭБ, которая сопрягается с охлаждаемым элементом посредством протяженных цельнометаллических теплопроводов из меди или алюминия. Опытный образец устройства включает в себя слоистую ТЭБ, выполненную из восьми ТЭ, жидкостной теплообменник аппарат для съема теплоты с горячих коммутационных пластин и цельнометаллические теплопроводы, изготовленные из меди. Ветви термоэлементов имеют цилиндрическую форму, диаметр ветвей — 8 мм, высота 3,5 мм, толщина коммутационных пластин — 1 мм, высота 17 мм и ширина 4 мм.

Термоэлектрические свойства ветвей:

— для ветви *p*-типа коэффициент термоэдс равен $(189 \cdot 10^{-6})$ В/К; удельная электропроводность 970 1/(Ом·см); коэффициент теплопроводности $1,4$ Вт/(м·К);

— для ветви *n*-типа коэффициент термоэдс равен $(198 \cdot 10^{-6})$ В/К; удельная электропроводность 1010 1/(Ом·см); коэффициент теплопроводности $1,5$ Вт/(м·К).

Длина теплопроводов составляет 42,5 см, толщина их теплоизоляции 1 мм. Жидкостной теплообменник аппарат выполнен таким образом, чтобы поверхность его сопряжения с горячими коммутационными пластинами ТЭБ была ребристой. Причем, с учетом нанесенной на них теплоизоляции расстояние между ребрами, их высота и ширина должны соответствовать толщине, высоте и ширине коммутационных пластин.

Результаты экспериментальных исследований опытного образца прибора приведены на рис. 2–5 (сплошная линия — расчетные значения, точки — экспериментальные). Рассмотрены зависимости изменения во времени температуры различных точек устройства (включая холодную коммутационную пластину, теплопровод и жидкостной теплообменник) при различных токах питания ТЭБ.

На рис. 2 приведены данные об изменении температуры в различных контрольных точках прибора при токе питания ТЭБ, равном 35 А. Согласно полученным данным, перепад температур между холодным спаем ТЭБ и концом теплопровода составляет порядка 6 К. При этом данная величина перепада температур имеет примерно такое же значение в диапазоне токов питания ТЭБ от 10 до 50 А. Для опытного образца устройства продолжительность выхода на стационарный режим работы составляет 20–25 мин для различных точек системы. Продолжительность выхода на стационарный режим для контрольной точки, расположенной в конце теплопровода несколько выше, чем для холодной коммутационной пластины, и составляет около 25 мин, тогда как для последнего случая эта величина не превышает 20 мин. Данное обстоятельство объясняется удалением контрольной точки на конце теплопровода от источника холода — контакта ветви полупроводника и коммутационной пластины, конечным значением коэффициента теплопроводности материала теплопровода и теплопритоками из окружающей среды.

Максимальное снижение температуры получено при увеличении тока питания ТЭБ до 50 А. При этом температура коммутационной пластины снижалась до 258,5 К, а контрольной точки в конце теплопровода — до 264 К. Соответственно, при последовательном уменьшении питающего ТЭБ электрического тока до 40, 30, 20 и 10 А температура коммутационной пластины снижалась до 261,5, 267,5, 273 и 280 К, а на конце теплопровода — до 268,5, 273, 279, 285,5 К.

Для оценки возможности эффективного съема теплоты с горячих коммутационных пластин ТЭБ замерялась температура на жидкостном теплообменном аппарате. На рис. 3 показано изменение температуры жидкостного радиатора во времени при различных токах питания ТЭБ. Согласно полученным данным, его температура в первые 1,5–2 мин резко возрастает до 315,5–317,5 К в зависимости от величины тока питания ТЭБ, а затем уменьшается и принимает свое стационарное значение, лежащее в пределах 306–308 К. Время достижения стабильного значения температуры жидкостного теплообменного аппарата при данных условиях составляет 22 мин. Исходя из результатов экспериментальных исследований следует, что при температуре жидкости в теплообменном аппарате, равной 296 К, и скорости ее протекания 0,07 л/с в диапазоне токов питания ТЭБ 10–50 А обеспечивается необходимый теплосъем с горячих коммутационных пластин ТЭ. Таким образом, для обеспечения эффективного функционирования охлаждающего прибора не потребуются специальных мер по организации отвода теплоты с горячих коммутационных пластин ТЭБ. В данных условиях будет достаточно применения жидкостной системы теплосъема, в которой в качестве охлаждающей жидкости может быть использована вода при комнатной температуре и незначительном массовом расходе.

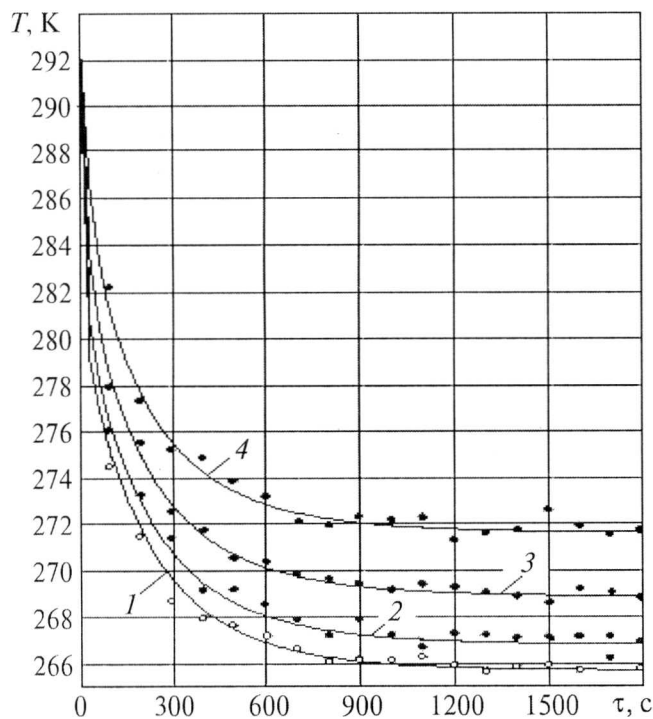


Рис. 2. Изменение во времени температуры в различных точках системы при фиксированном токе питания ТЭБ:
 1 — температура холодной коммутационной пластины;
 2 — температура теплопровода на расстоянии 150 мм от холодной коммутационной пластины;
 3 — температура теплопровода на расстоянии 300 мм от холодной коммутационной пластины;
 4 — температура на конце теплопровода

На рис. 4 приведены данные об изменении разности температур между концом теплопровода и холодной коммутационной пластиной в зависимости от длины теплопровода из меди и алюминия. Для этих целей был использован ряд теплопроводов различной длины, изготовленных из меди и алюминия. В соответствии с результатами исследований следует, что разность температур линейно увеличивается с ростом длины теплопровода. Так, согласно рис. 4, для медного теплопровода перепад температур между холодной коммутационной пластиной и концом теплопровода изменяется от 2,5 до 6 К при увеличении длины теплопровода с 20 до 42,5 см и токе питания ТЭБ, равном 40 А. Для алюминиевого теплопровода длиной 20 см перепад температур между холодной коммутационной пластиной и концом теплопровода составляет 4,3 К при том же токе питания, при длине теплопровода 42,5 см эта величина составляет 9,3 К. Данное обстоятельство позволяет сделать вывод об эффективности использования медных теплопроводов в тех случаях, когда предъявляются особые требования к температурным потерям по их длине и отсутствуют ограничения по

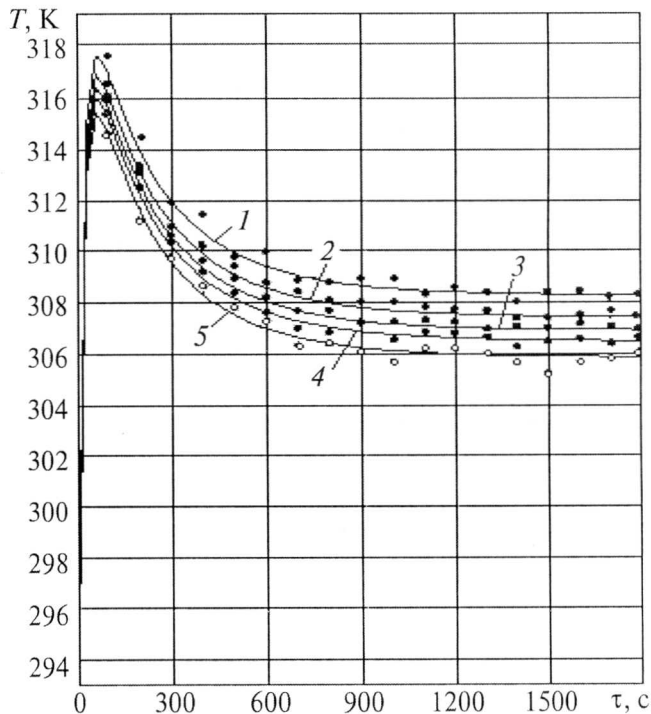


Рис. 3. Изменение температуры на жидкостном теплообменном аппарате во времени при различных токах питания:
 1 — при 50 А;
 2 — при 40 А;
 3 — при 30 А;
 4 — при 20 А;
 5 — при 10 А

массе и стоимости устройства охлаждения. В противном случае, особенно когда длина теплопровода незначительна, более эффективным будет применение алюминиевых теплопроводов, менее дорогих, чем медные, и имеющих меньшую массу.

На рис. 5 представлены экспериментальные графики для случая, когда ТЭБ работает в режиме нагрева. Данная информация представляет интерес в случае, когда требуется пространственно разнести систему охлаждения и съема теплоты с горячих коммутационных пластин ТЭ. Приведены графики изменения во времени температуры горячей коммутационной пластины и температуры в различных точках теплопровода.

Согласно полученным результатам, при увеличении величины тока питания ТЭБ температура коммутационных пластин значительно возрастает. Так, при изменении тока питания с 20 до 50 А температура горячей коммутационной пластины увеличивается с 334 до 350 К, а температура на конце медного теплопровода — с 329 до 344 К.

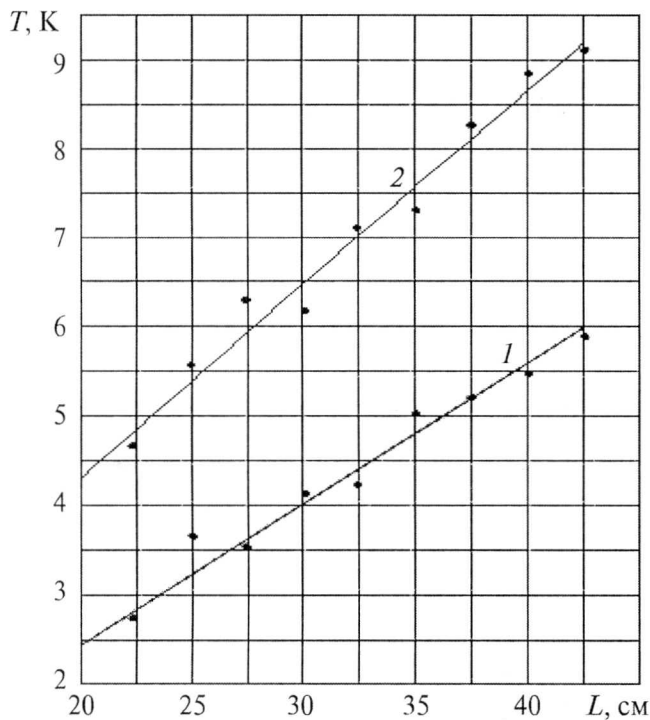


Рис. 4. Изменение разности температур между концом теплопровода и холодной коммутационной пластиной в зависимости от длины теплопровода:
 1 — медный теплопровод;
 2 — алюминиевый теплопровод

Разность температур между горячей коммутационной пластиной и концом теплопровода составляет примерно ту же величину, что и для случая работы ТЭБ в режиме охлаждения. В диапазоне токов от 10 до 50 А она составляет примерно 5–7 К.

Как было отмечено выше, данное исполнение охлаждающей системы позволит осуществлять механически гибкое сочленение охлаждаемого объекта (источника теплоты) и системы теплосброса, а также контакт с охлаждаемым (нагреваемым) объектом, находящимся в труднодо-

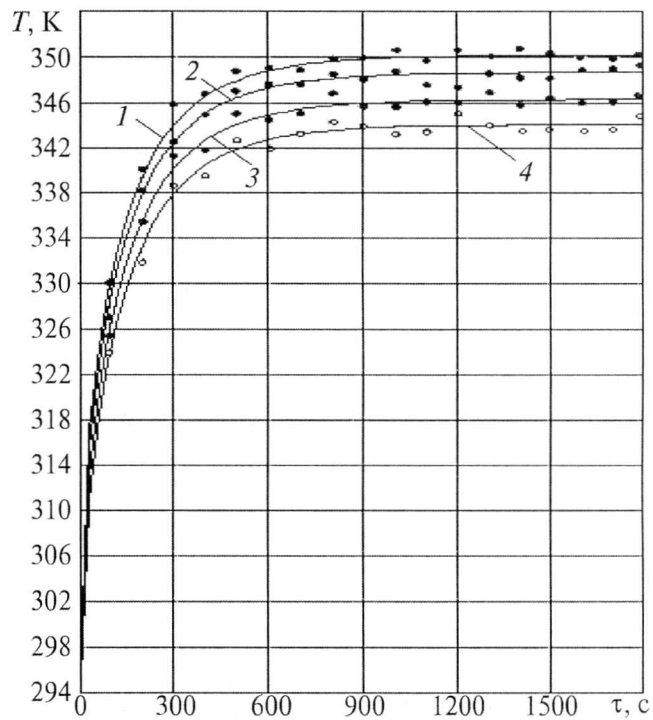


Рис. 5. Изменение во времени температуры в различных точках системы при фиксированном токе питания ТЭБ, работающей в режиме нагрева:
 1 — температура горячей коммутационной пластины;
 2 — температура теплопровода на расстоянии 150 мм от горячей коммутационной пластины;
 3 — температура теплопровода на расстоянии 300 мм от горячей коммутационной пластины;
 4 — температура на конце теплопровода

ступном месте за счет специальной конструкции коммутационных элементов (протяженности и гибкости), при этом потери тепла на коммутационных элементах будут незначительны.

Список литературы

1. Пат. РФ на изобретение № 2280919. Термоэлектрическая батарея / Исмаилов Т. А., Вердиев М. Г., Евдулов О. В.; Опул. 27.07.2006. БИ № 21.