

Экспериментальные исследования полупроводникового термоэлектрического устройства для локального теплового воздействия на рефлексогенные зоны человеческого организма

Д-р техн. наук Т.А. ИСМАИЛОВ, М.А. ХАЗАМОВА
Дагестанский государственный технический университет

The paper considers the use of solid-state thermoelectric devices for physiotherapeutic procedures (local heating and cooling of feet). The experimental test facilities for study of operation of the investigated device are described, and the results of the experiments on the determination of temperature characteristics of the device are given. It is found that it is practicable to use an accelerated method of stabilization of operation of the device, using six thermal modules with feed current 5 A. The time of stabilization of operation is 1 - minutes for cooling and 5 – 6 minutes for heating operation.

Физиотерапевтические методы воздействия на организм человека на сегодняшний день являются одними из наиболее эффективных. Это связано, в частности, с терапевтическим эффектом теплового воздействия при локальном нагревании рефлексогенных областей. Участки кожи, соответствующие локализации рефлексогенных областей, т.е. акупунктурные зоны, имеют низкую теплопроводность [4], что делает эффективным локальные температурные раздражения. Все это обуславливает значимость местно применяемого температурного воздействия в физиотерапии, особенно при заболеваниях опорно-двигательного аппарата (артрит, миозит, периартрит и т.д.).

Однако, известные методики (контрастные и вихревые ванны, парафино- и озокеритолечение и др.) обладают различными недостатками [3], в частности таким, как невозможность комбинированного воздействия различными физическими факторами, следствием чего является отсутствие современных средств, которые бы обеспечивали высокую эффективность лечения. В связи с этим применение полупроводниковых термоэлектрических устройств (ПТЭУ) оказалось вне конкуренции по сравнению с другими способами, так как путем простого переключения направления тока возможен переход с режима охлаждения на режим нагрева и наоборот.

В лаборатории полупроводниковых термоэлектрических приборов и устройств Дагестанского государственного технического университета разработано ПТЭУ для проведения физиотерапевтических температурных процедур, связанных с воздействием на реф-

лексогенные зоны стопы человека [1,2]. Посредством рецепторов, располагающихся на поверхности стопы, обеспечиваются определенные связи между поверхностью ног и внутренними органами человеческого организма, на чем и основан лечебный эффект массажа. Наличие термоэлектрических модулей (ТЭМ) позволяет осуществить быстрый переход с режима охлаждения в режим нагрева и наоборот, что дает возможность осуществлять контрастное воздействие теплом и холодом.

Для оценки конструкции устройства и сравнения выходных характеристик исследуемого прибора с теоретическими были проведены экспериментальные исследования, объектом которых явился опытный образец ПТЭУ для воздействия на стопу человека. Принципиальная схема экспериментального стенда приведена на рис. 1.

Опытный образец устройства изготовлен в виде кожаной сапога 1, содержащего термобатарею из стандартных унифицированных ТЭМ 2, одними спаями приведенную в тепловой контакт с основанием сапога – медной пластиной 3. Возможно заполнение нижней части сапога над пластиной 3 медным гранулятом 4. Противоположные спаи батареи находятся в тепловом контакте с жидкостным теплообменником 5, предназначенным для съема тепла.

При проведении эксперимента опытный образец помещался в теплоизолированную климатическую камеру 13, термостатируемый рабочий объем которой составляет 120 л. В камере обеспечивается поддержание температуры в пределах 283...343 К (с точностью 1° С) и при относительной влажности 30 – 98 %. Заданная

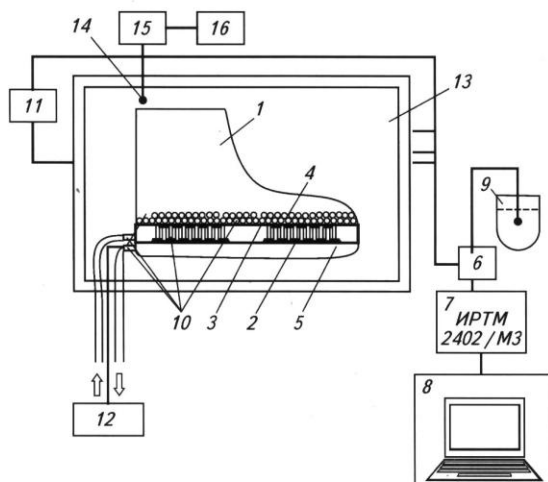


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального стенда

температура и относительная влажность в камере регулируются блоком управления 15, связанным с датчиком температуры и влажности 14, показания которого регистрируются цифровым табло 16.

В термобатарею использовались соединенные параллельно стандартные унифицированные ТЭМ типа ICE-71, выпускаемых инженерно-производственной фирмой «Криотерм». Питание ТЭМ осуществляется источником электрической энергии. Для проведения измерений использовались встроенные в источник электрической энергии амперметр и вольтметр и многоканальный измеритель 7 марки ИРТМ 2402/МЗ, подключенный к ЭВМ 8.

Температура в контролируемых точках (на слоях гранулята, на поверхности пластины, на опорных и рабочих спаях ТЭМ, на входе-выходе в теплообменник) измерялась посредством медь-константановых термопар 10, опорные спаи которых были размещены в сосуде Дьюара 9, а сигнал снимался измерителем ИРТМ2402/МЗ.

При проведении экспериментальных исследований основной задачей являлось получение временных зависимостей изменения температуры исследуемого объекта при различных параметрах термоэлектрической батареи (ТЭБ). Эксперимент проводился при непосредственном тепловом воздействии на биологический объект (в данном случае стопа человека), температура которого контролировалась термопарами, установленными на подошве стопы.

На рис. 2 приведены временные зависимости температуры 2-го (верхнего) слоя гранулята для режима охлаждения (рис. 2, а) и режима нагрева (рис. 2, б). Как следует из представленных данных, продолжительность выхода на режим устройства вполне приемлемая. Для режима охлаждения она составляет 5...10 мин, а для режима нагрева – 4...6 мин. Глубина нагрева и охлаждения напрямую связана с током питания ТЭБ и растет с его увеличением.

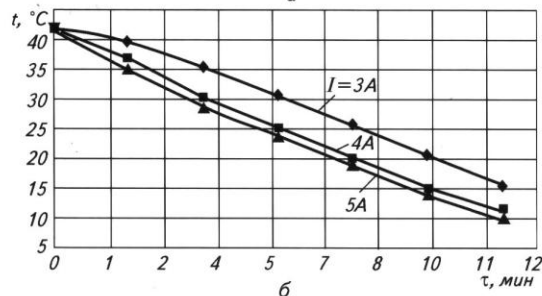
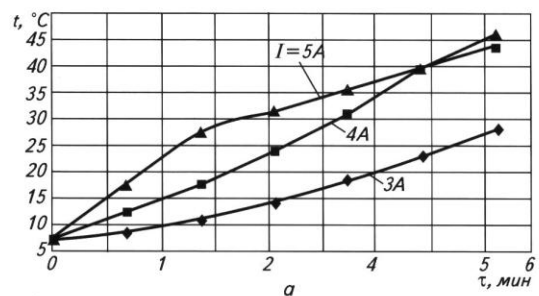


Рис. 2. Временная зависимость температуры 2-го слоя гранулята при различных токах питания ТЭБ: а – режим нагрева; б – режим охлаждения

На рис. 3 представлены временные зависимости температуры пластины и температуры на подошве стопы при различных токах в режиме нагрева (рис. 3, а) и режиме охлаждения (рис. 3, б).

Исследование этих зависимостей показывает, что температура на пластине растет с увеличением тока питания ТЭБ, в то время как на подошве стопы заметны процессы терморегуляции живых систем. В первый момент при воздействии теплом температура стопы резко повышается, что обусловлено сжатием сосудов, вторая фаза сопровождается расширением сосудов,

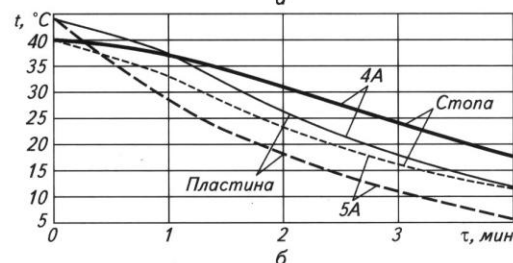
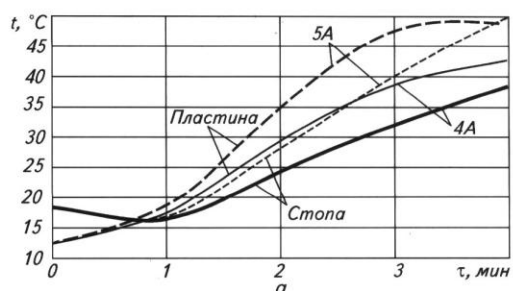


Рис. 3. Временная зависимость температуры на пластине и на подошве стопы при различных токах: а – режим нагрева; б – режим охлаждения

приливом крови и, как следствие этого, незначительным понижением температуры. Далее включаются механизмы терморегуляции и температура постепенно выравнивается в зависимости от воздействующего режима. Следует отметить, что температура на пластине достигает необходимого значения, а именно 42...45 °С в режиме нагрева и 10...12 °С в режиме охлаждения в течение 3...5 мин.

Зависимость температуры верхней поверхности гранулята от тока питания ТЭБ при работе устройства в режиме охлаждения приведена на рис. 4. Практический интерес представляют два режима работы прибора: при включении восьми и четырех ТЭМ.

Согласно приведенным зависимостям сначала с ростом тока наблюдается резкое снижение температуры верхней поверхности (2-го слоя) гранулята, затем темп снижения температуры замедляется, и при величине тока около 5 А ее изменение практически прекращается. Данное обстоятельство определяется, прежде всего, достижением оптимального для данного типа ТЭБ тока питания, а также увеличением теплопритока из окружающей среды при понижении температуры объекта. Кроме того, важно отметить значительную разницу температуры верхней поверхности гранулята при включении восьми и четырех ТЭБ, которая для данного случая при токе питания 3 А достигает почти 14 °С.

Таким образом, первоначальное включение в процесс температурного воздействия большого числа модулей, часть которых может быть отключена по достижении необходимого температурного уровня, является одним из методов уменьшения времени выхода на режим данного устройства. Для рассмотренного в эксперименте случая промежуток времени выхода на режим устройства сокращается в несколько раз.

В результате экспериментальных исследований установлены потери на слое гранулята, связанные с его тепловым сопротивлением, которое необходимо учитывать при эксплуатации устройства, в частности для случая строго дозированных температурных воздействий.

Кроме того, в ходе экспериментальных исследований нами были получены: зависимости температуры рабочих и опорных спаев ТЭМ, а также температуры в различных точках пластины от величины тока питания; кривые времени нагрева и охлаждения в интервале температур от 10 до 45 °С в зависимости от тока питания, а также переходные характеристики устройства.

При переменном воздействии теплом и холодом (переходные характеристики) общее время одного цикла при токе питания 5 А составляет около 6...7 мин, причем режим нагрева обеспечивается за 2...3 мин, режим охлаждения — за 3...5 мин.

Подводя итог вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

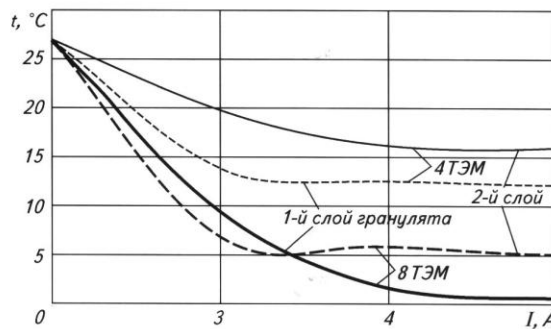


Рис. 4. Зависимость температуры гранулята от тока питания в режиме охлаждения

- целесообразно на практике использовать форсированный выход устройства на необходимый тепловой режим, после чего число используемых модулей может быть уменьшено;

- при эксплуатации прибора на слое гранулята имеют место тепловые потери, которые необходимо учитывать при строго дозированных температурных воздействиях;

- при тепловом воздействии непосредственно на биологический объект наблюдается повышение температуры на пластине с увеличением тока питания ТЭБ и характерное изменение температуры подошвы стопы, что подтверждает наличие терморегуляционного процесса;

- температура на пластине достигает необходимого значения, а именно 42...45 °С в режиме нагрева и 10...12 °С в режиме охлаждения в течение 3...5 мин;

- для формирования температурного воздействия в широком интервале температур в разработанном устройстве используется 6 термомодулей с максимальным током питания 5 А, что свидетельствует об удовлетворительных величинах энергопотребления;

- продолжительность выхода устройства на режим вполне приемлема и составляет около 10 мин для режима охлаждения и 5...6 мин для режима нагрева.

Список литературы

1. Патент РФ № 2245694. Полупроводниковое термоэлектрическое устройство для локального теплового воздействия на стопу человека // Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, А.К. Зарат, Г.И. Аминов, М.А. Хазамова. Б.И. № 4. 2004.
2. Патент РФ № 2245693. Полупроводниковое термоэлектрическое устройство для локального теплового воздействия на стопу человека // Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, Г.И. Аминов, М.А. Хазамова. Б.И. № 4. 2004.
3. Физическая реабилитация / Под общей ред. проф. С.Н.Попова. —Изд. 2-е. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2004.
4. Шпунт В.Х. Динамические электрические свойства кожи человека // Биомедицинская радиоэлектроника. 2000. № 4.