

соответствует $\alpha_{\text{стж}}=61 \text{ Вт/К}\cdot\text{м}^2$ и $\alpha_{\text{ср}}=1,5 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ составило 4 раза). Отсюда следует, что существующие ограничения в отношении времени цикла работы элемента РЭА и времени перерыва между его включениями, при использовании дополнительной теплоотводящей системы снижаются.

Таким образом, если в случае естественного теплообмена оболочки охлаждающего устройства с окружающей средой период работы элемента РЭА должен был бы быть значительно меньше «паузы», то при использовании дополнительного теплосъема, время между двумя последовательными циклами работы РЭА может быть в значительной мере уменьшено.

Библиографический список:

1. Алексеев В.А., Чукин В.Ф., Шишанов А.В. Прогнозирование теплового режима бортовой радиоэлектронной аппаратуры // Схемотехника, 2004. - №2.
2. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Махмудова М.М., Евдулов Д.В. Исследование системы охлаждения элементов радиоэлектронной аппаратуры, работающих в режиме повторно-кратковременных тепловыделений // Известия вузов России. Радиоэлектроника, 2008. - №4.
3. Роткоп Л.Л., Спокойный Ю.Е. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. М.: Советское радио, 1976.

УДК 681.382

Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Магоматов Р.А.-М.

НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УРОВНЕ СРЕДНЕЙ ТРЕТИ ПЛЕЧА ЧЕЛОВЕКА

Ismailov T.A., Evdulov O.V., Magomadov R.A.-M

FIELD TESTS OF THE PROTOTYPE OF THERMOELECTRIC SYSTEM FOR THERMAL INFLUENCE ON THE LEVEL OF THE MIDDLE THIRD OF THE SHOULDER OF THE MAN

В работе рассмотрены результаты натурных испытаний опытного образца термоэлектрической системы для теплового воздействия на уровне средней трети плеча человека, дающей возможность лечения и

профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата без медикаментозного вмешательства. Приведена конструкция прибора, экспериментального стенда, а также методика проведения натурных испытаний системы. Представлены характеристики опытного образца термоэлектрической системы, снятые с использованием измерительного стенда.

Ключевые слова: *термоэлектрическая система, опытный образец, тепловое воздействие, средняя треть плеча, температура, экспериментальный стенд, натурные испытания.*

In this work the results of field tests of the prototype of thermoelectric system for thermal influence on the level of the middle third of the shoulder of the person, enabling the treatment and prevention of diseases of musculoskeletal system without medical intervention. Given the design of the device, experimental stand, and also a technique of field tests of the system. Presents the characteristics of a prototype thermoelectric systems, recorded using the measuring bench.

Key words: *thermoelectric system, prototype, thermal influence, the middle third shoulder, temperature, experimental stand, full-scale tests.*

В настоящее время при лечении болезней опорно-двигательного аппарата (воспалительные заболевания суставов, последствия травматических поражений, ревматоидный артрит и т.п.) все большее распространение получают методы, основанные на использовании специальных средств, оказывающих тепловое воздействие на пораженные участки.

Среди существующих методик проведения подобного рода лечебных процедур выделяются ванны постепенно повышаемой температуры (ванны по Гауффе), контрастные ванны, частичные ванны (ручные) и т.д., а также использование различных сред, таких как парафин, озокерит и др. [1, 2]. Недостатками указанных методов физиотерапевтических процедур являются их низкая эффективность и дискомфортность, сложность и неудобство в реализации, недостаточная точность дозировки теплового воздействия.

Для устранения данных недостатков в лаборатории полупроводниковых термоэлектрических приборов и устройств ФГБОУ ВПО «Дагестанский государственный технический университет» разработана термоэлектрическая система (ТЭС) для осуществления лечебного теплового воздействия на отдельные зоны руки человека.

В настоящей работе представлены результаты ее экспериментальных исследований при тепловом воздействии на уровне средней трети плеча человека.

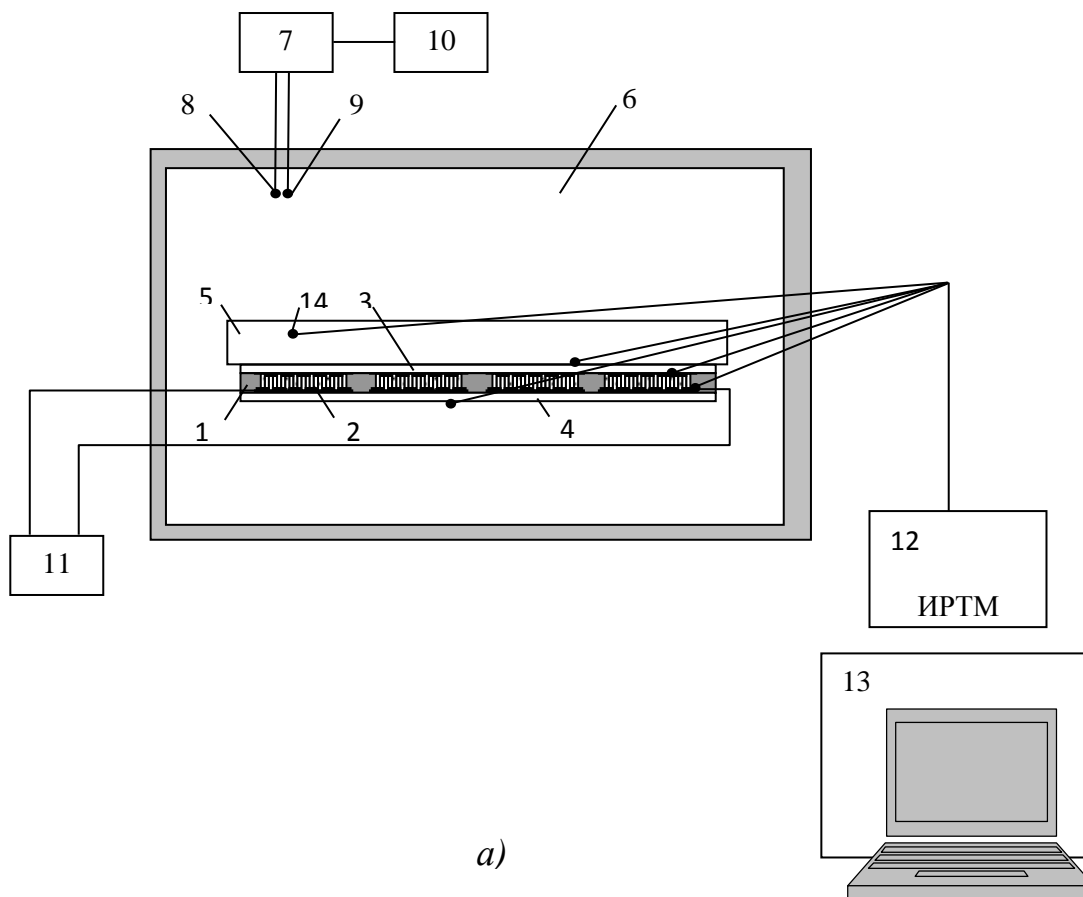


Рисунок 1 - Принципиальная схема, *а* и внешний вид, *б* экспериментального стенда для исследования характеристик опытного образца ТЭС для теплового воздействия на отдельные зоны руки человека

Для проведения натуральных испытаний ТЭС собран экспериментальный стенд, принципиальная схема которого приведена на рис.1, а, а внешний вид – на рис.1, б. Объектом экспериментальных исследований явился опытный образец ТЭС, реализованный в виде конструкции, содержащей гибкое эластичное основание 1 со встроенными в него четырьмя термоэлектрическими модулями (ТЭМ) 2, на спаях которых размещены гибкие металлические тепловыравнивающие пластины 3 (со стороны рабочих спаев) и 4 (со стороны опорных спаев, реализованные отдельно для каждого модуля, выполняющих роль теплоотводов). В качестве биологического объекта использована модель руки человека 5, изготовленная фирмой Nasco, модель LF01121U (США). Геометрические размеры основных составляющих частей опытного образца системы даны в миллиметрах, и приведены на рис.2.

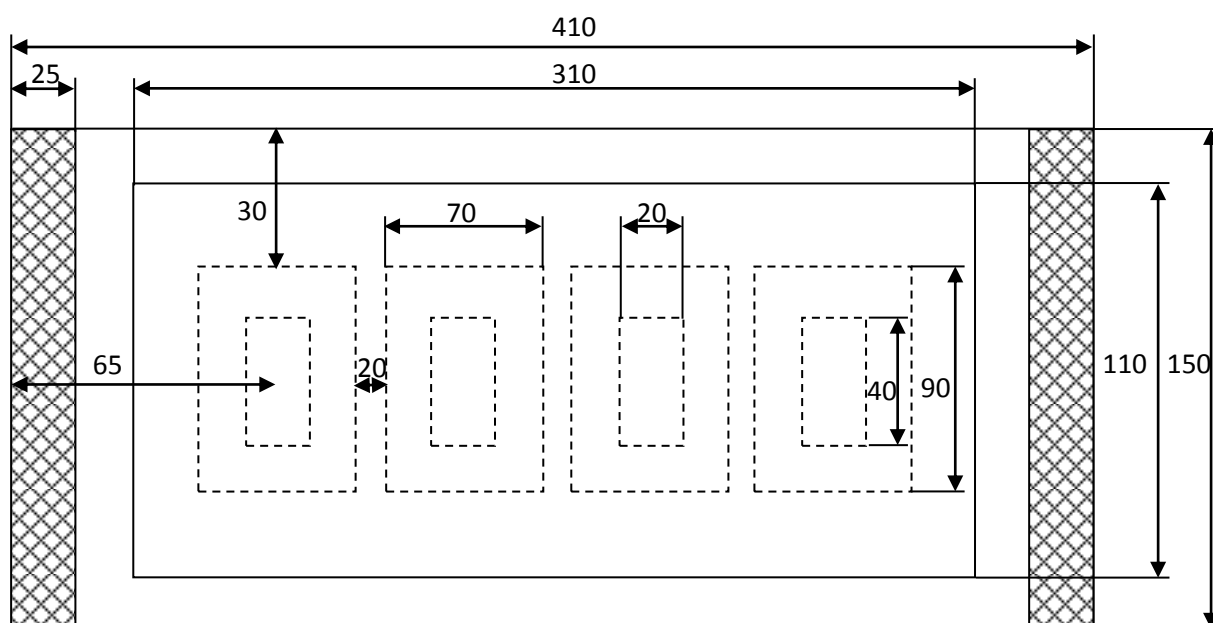


Рисунок 2 - Эскизный рисунок опытного образца ТЭС с основными геометрическими размерами

При натуральных испытаниях опытного образца системы использованы стандартные ТЭМ типа ТВ-63-1.4-2.5 (изготовитель – ИПФ «Криотерм»), основные характеристики которых приведены в [3].

При проведении эксперимента образец ТЭС помещалась в климатическую камеру 6, рабочий объем которой составляет 120 л. Значение температуры и относительной влажности регулируется блоком управления 7, связанным с датчиками температуры и влажности 8 и 9, показания которых выводятся на цифровое табло 10. Питание ТЭМ осуществлялось ис-

точником электрической энергии 11 марки GPR-1850HD. Для проведения измерений использовались встроенные в источник электрической энергии амперметр и вольтметр, а также многоканальный измеритель температуры ИРТМ 2402/М3 12, подключенный к ПЭВМ 13.

В ходе эксперимента измерялся протекающий через ТЭМ ток, а также соответствующее падение напряжения, температура окружающей среды, температуры в контрольных точках опытного образца ТЭС. Измерения температуры проводились с использованием медь-константановых термопар 14, опорные спаи которых размещались в сосуде Дьюара, а сигнал поступал на измеритель температуры ИРТМ 2402/М3 и выводился на ПЭВМ. Термопары размещались на рабочих и опорных спаях ТЭМ, тепловыравнивающих пластинах, а также в контрольных точках модели руки человека и в окружающей среде.

При проведении эксперимента выходные сигналы с термопар поступали на вход измерителя ИРТМ 2402/М3, предназначенного для многоканального определения температуры, а также некоторых других неэлектрических величин. Сопряжение ПЭВМ и многоканального измерителя температуры осуществляется за счет наличия в последнем интерфейса RS232 для обмена информацией с ПЭВМ.

Перед выполнением измерений проверялась надежность электрических и тепловых контактов, механическое сопряжение всех основных частей экспериментального стенда, опытного образца ТЭС и модели руки человека. Опыты проводились сериями по четыре эксперимента в идентичных условиях.

На основе разработанного измерительного стенда была проведена серия натуральных испытаний опытного образца ТЭС, позволяющая судить об ее основных параметрах и характеристиках.

Основной задачей при проведении натуральных испытаний опытного образца ТЭС являлось определение зависимостей изменения температуры в различных точках исследуемого объекта во времени при определенных величинах тока питания ТЭБ. Полученные значения сравнивались с теоретическими с соответствующим определением расхождений между экспериментом и расчетными данными.

Технические требования, предъявляемые к прибору при его работе, в процессе эксперимента задавались следующими исходными данными:

- допустимый диапазон температур биологического объекта – 283÷318 К;
- температура окружающей среды – 293 К;
- точность поддерживания температуры – 0,5 К.

На рис.3 (а) представлены кривые изменения температуры модели руки человека на уровне средней трети плеча во времени при охлаждающем

и нагревающим воздействием для значений токов питания ТЭМ, равных 2,6 А, 2,9 А, 3,2 А, 3,5 А и 0,5 А, 0,7 А, 0,9 А, 1,1 А.

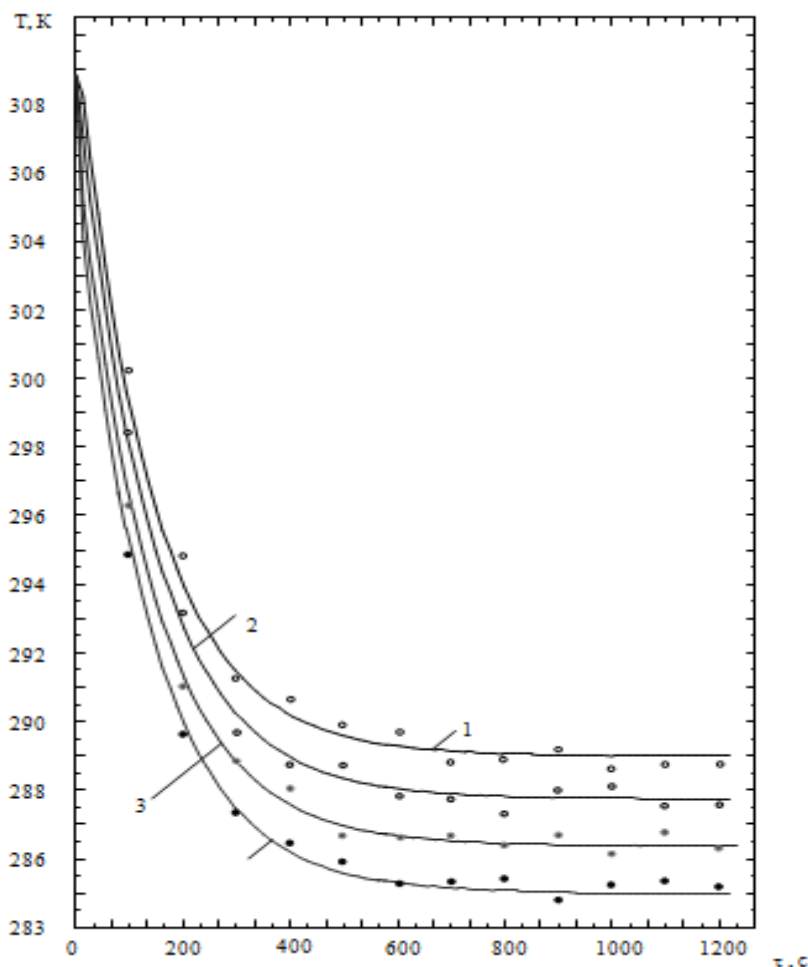


Рисунок 3 - а Изменение температуры модели руки человека (средней трети плеча) во времени при охлаждающем воздействии для различных значений тока питания ТЭМ

1 – I = 2,6 А; 2 – I = 2,9 А; 3 – I = 3,2 А; 4 – I = 3,5 А

Как следует из представленных данных, продолжительность выхода в стационарный режим системы ТЭС – биологического объекта составляет при работе системы в режиме охлаждения и нагрева около 15 мин. При этом увеличение значения тока питания ТЭМ приводит к уменьшению температуры биологического объекта при работе ТЭС в режиме охлаждения и увеличению его температуры при работе ТЭС в режиме нагрева, что соответствует повышению холодо- и теплопроизводительности ТЭМ. При этом, необходимо отметить, что ток питания ТЭС при работе последней, в режиме нагрева существенно меньше (1,1 А), чем в случае ее эксплуатации в режиме охлаждения (3,5 А), что определяется ограничением температу-

ры кожного покрова значением 318 К, соответствующим появлению болевых ощущений от процедуры.

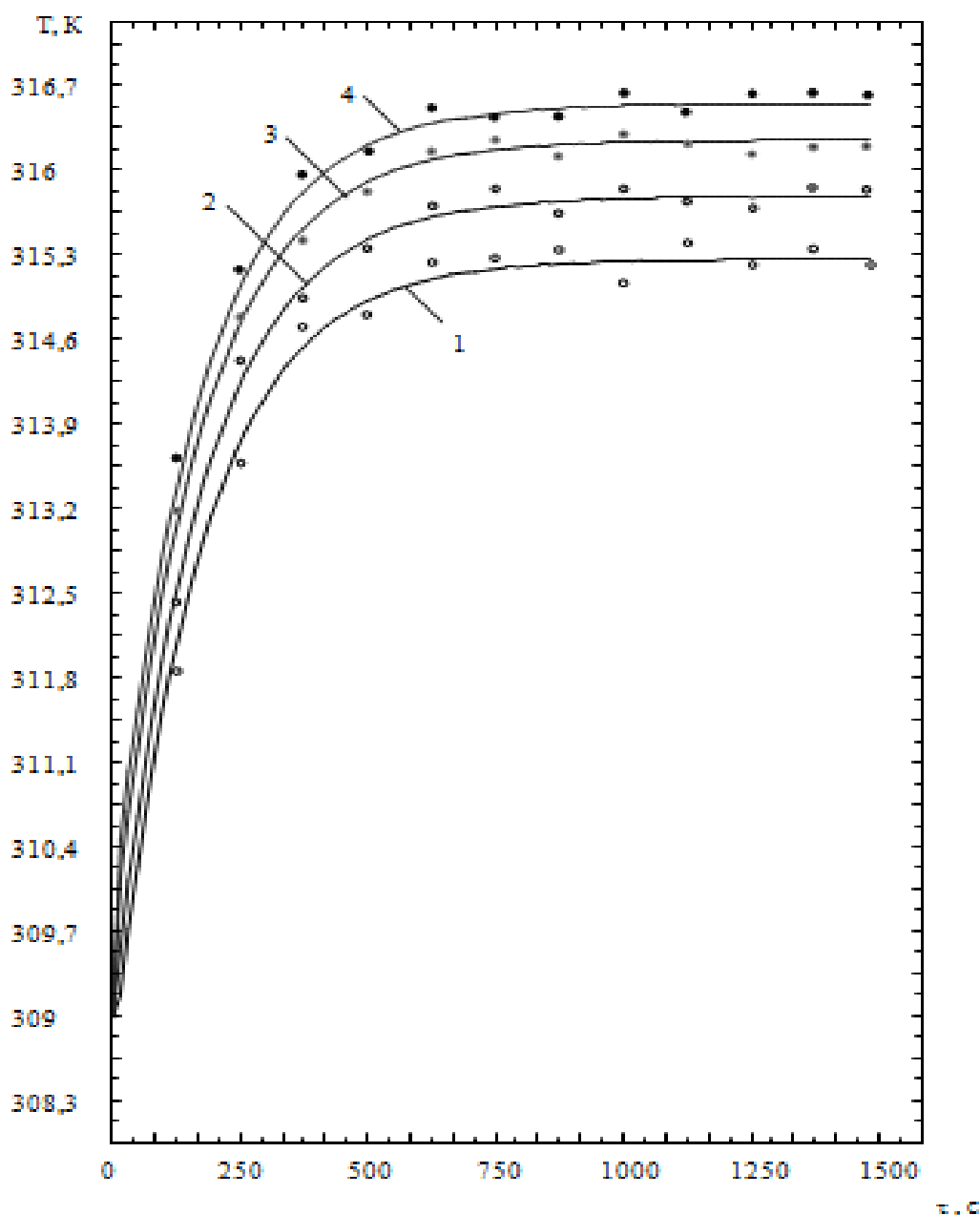


Рисунок 3 - б Изменение температуры модели руки человека (средней трети плеча) во времени при нагревающем воздействии для различных значений тока питания ТЭБ

1 – I = 0,5 А; 2 – I = 0,7 А; 3 – I = 0,9 А; 4 – I = 1,1 А

При изучении параметров разработанной ТЭС представляет интерес оценка потерь, связанных с конечным значением коэффициента теплопередачи от устройства к биологическому объекту, а также оценка температуры опорных спаев ТЭМ. Для этого получены зависимости изменения во

времени температуры в различных точках исследуемой системы, а именно, непосредственно модели руки человека, холодного и горячего спая ТЭМ при тепловом воздействии на среднюю треть плеча.

Согласно полученным данным разность температур между рабочими спаями ТЭМ и биологическим объектом составляет порядка 3 К. Данные потери складываются из неплотности контакта между моделью руки и спаями ТЭМ, конечной величины коэффициентов теплопроводности элементов системы, а также теплопритоков из окружающей среды. Уменьшить перепад температур между биологическим объектом и спаями ТЭМ можно за счет использования специальной теплопроводной пасты, наносимой на поверхность объекта воздействия, а также уменьшением теплопритоков из окружающей среды за счет хорошей теплоизоляции участка руки, подвергающегося воздействию ТЭС.

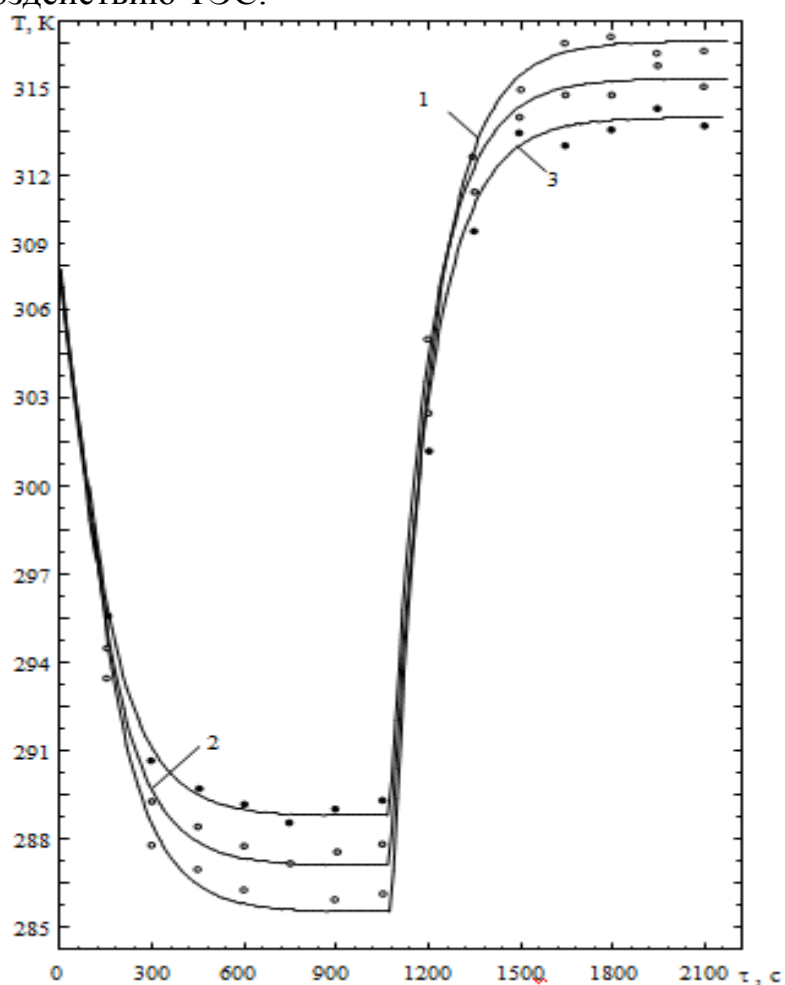


Рисунок 4 - а Изменение температуры модели руки человека (средней трети плеча) во времени при контрастном динамическом тепловом воздействии с переходом ТЭС из режима охлаждения в режим нагрева для различных значений тока питания ТЭБ

$$1 - I_{\text{охл}} = 3,1 \text{ А}, I_{\text{нагр}} = 0,9 \text{ А}; 2 - I_{\text{охл}} = 2,8 \text{ А}, \\ I_{\text{нагр}} = 0,6 \text{ А}; 3 - I_{\text{охл}} = 2,5 \text{ А}, I_{\text{нагр}} = 0,3 \text{ А}$$

Для изучения динамических режимов работы ТЭС получены кривые изменения температуры средней трети плеча человека (на соответствующей модели) во времени при изменении функционирования прибора с режима охлаждения на режим нагрева и наоборот, приведенные на рис.4.

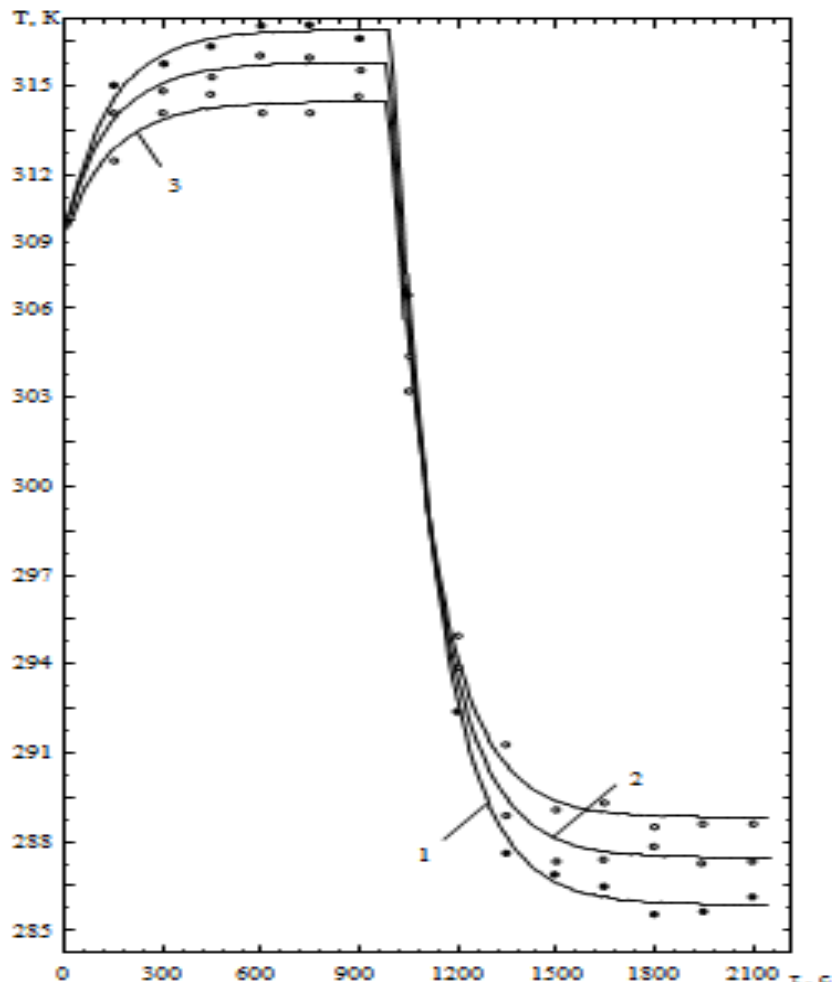


Рисунок 4 - б Изменение температуры модели руки человека (средней трети плеча) во времени при контрастном динамическом тепловом воздействии с переходом ТЭС из режима нагрева в режим охлаждения для различных значений тока питания ТЭБ

1 – $I_{\text{охл}} = 3,1 \text{ A}$, $I_{\text{нагр}} = 0,9 \text{ A}$; 2 – $I_{\text{охл}} = 2,8 \text{ A}$, $I_{\text{нагр}} = 0,6 \text{ A}$; 3 – $I_{\text{охл}} = 2,5 \text{ A}$,
 $I_{\text{нагр}} = 0,3 \text{ A}$

Результаты рассмотрены для режимов: 1 – $I_{\text{охл}} = 3,1 \text{ A}$, $I_{\text{нагр}} = 0,9 \text{ A}$; 2 – $I_{\text{охл}} = 2,8 \text{ A}$, $I_{\text{нагр}} = 0,6 \text{ A}$; 3 – $I_{\text{охл}} = 2,5 \text{ A}$, $I_{\text{нагр}} = 0,3 \text{ A}$. В обоих случаях продолжительность переходного процесса с режима охлаждения на режим нагрева и наоборот относительно незначительна и составляет порядка 17 мин. При этом следует отметить, что для ускорения смены режимов воздействия может быть использован кратковременный форсированный режим

работы ТЭМ, состоящий в повышении их тока питания и соответственно значения, холодопроизводительности (теплопроизводительности) в переходном режиме работы прибора.

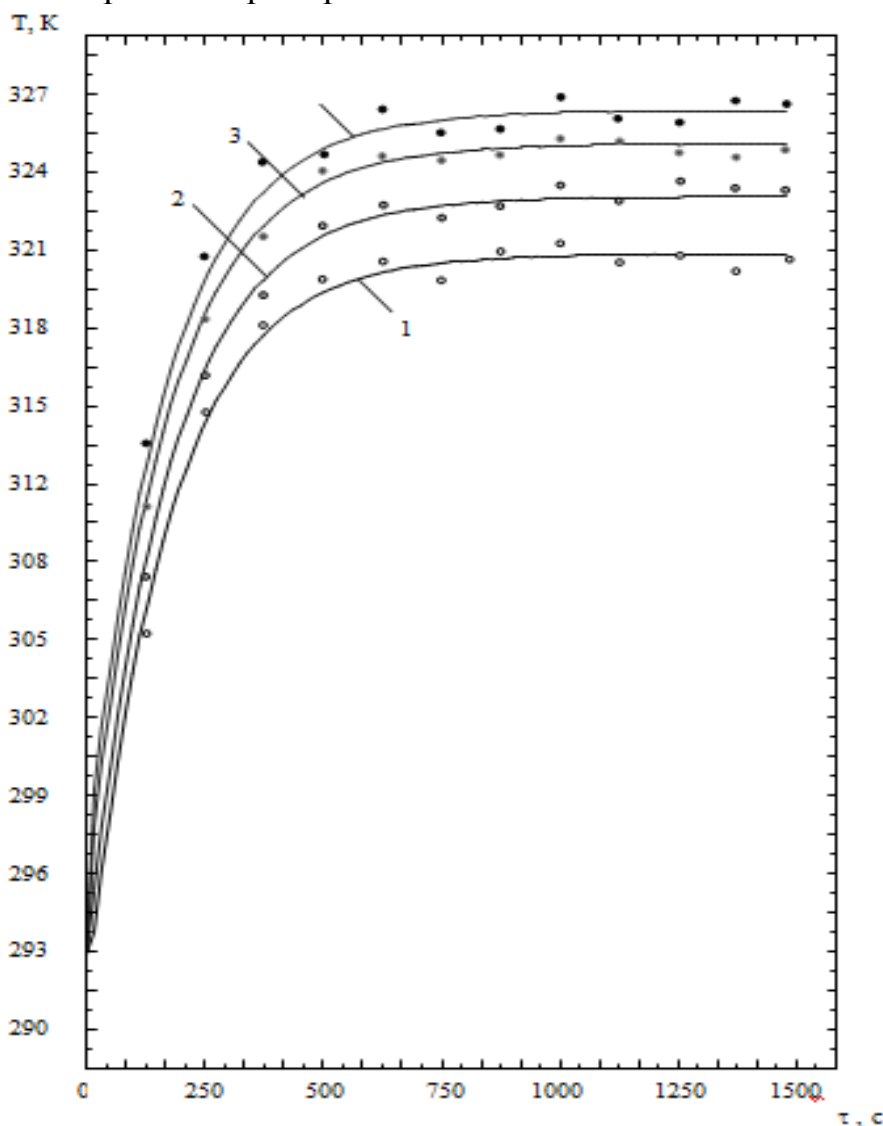


Рисунок 5 - Изменение температуры теплоотводов ТЭС во времени при охлаждающем воздействии для различных значений тока питания ТЭБ
 1 – $I = 2,5$ А; 2 – $I = 3$ А; 3 – $I = 3,5$ А; 4 – $I = 3,7$ А

На рис.5 для оценки возможностей отвода теплоты с горячих спаев ТЭБ в системе приведены данные об изменении температуры теплоотводов во времени при охлаждающем воздействии для различных величин тока питания ТЭБ.

Согласно представленным зависимостям следует, что значение температуры горячих спаев ТЭБ вполне приемлемо для используемого типа ТЭМ вплоть до максимального значения тока питания (при токе питания 3,7 А температура горячего спаев ТЭМ составляет 326,5 К). Данное обстоятельство определяет достаточную эффективность теплосъема в ТЭС и дает

основание полагать о надежной работе разработанного прибора при проведении необходимых процедур.

Библиографический список:

1. Боголюбов В.М., Улащик В.С. Комбинирование и сочетание лечебных физических факторов // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация, 2004, № 5.
2. Ежов В.В. Физиотерапия и физиопрофилактика как методы и средства сохранения и восстановления здоровья // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация, 2011, № 4.
3. <http://www.kryotherm.ru>.