

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Юровских Елизавета Андреевна

КУРСОВАЯ РАБОТА

«Изучение эффективности работы 4-х каскадного модуля ТЭМ»
Электромагнитный практикум, 2 курс, группа 20304

Научный руководитель:

д. ф.-м. н. Бердников В.С. _____

Оценка научного руководителя

« _____ » _____ 2021 г.

Преподаватель практикума

к.ф. –м.н. Шестаков Ю. В. _____

Оценка преподавателя практикума

« _____ » _____ 2021 г.

Куратор практикума:

к.т.н. Астрелин В.Т. _____

Итоговая оценка

« _____ » _____ 2021 г.

Новосибирск 2021

Изучение эффективности работы четырехкаскадного термоэлектрического модуля (ТЭМ)

Юровских Елизавета Андреевна

Физический факультет. Электромагнитный практикум. Курсовая работа.

Группа № 20304, 3 семестр, 2021.

Научный руководитель:

д. ф.-м. н. **Бердников Владимир Степанович**, г.н.с. ИТ СО РАН.

Аннотация

Изучена работа четырехкаскадного термоэлектрического модуля (ТЭМ). Освоена работа с современным тепловизором Flir X6530sc, позволяющим с высокой точностью измерять поля температуры на охлаждаемых поверхностях ТЭМ. Выполнена компьютерная обработка тепловизионных фильмов с использованием стандартного пакета программ. Получены поля и профили температуры на поверхностях ТЭМ. Проведен сравнительный анализ показаний тепловизора и термопар и получены зависимости полей температуры на поверхностях ТЭМ от времени при различных силах тока.

Ключевые слова: четырехкаскадный термоэлектрический модуль, термопары, элемент Пельтье, термоэлектричество, тепловизор.

Работа выполнена в Институте теплофизики СО РАН

Оглавление

1. Введение	4
2. Теоретическая часть	5
2.1 Термопары	5
2.2 Эффект Зеебека	6
2.3 Эффект Пельтье	7
2.4 Эффект Томсона	8
2.5 Полупроводники	8
2.6 Принцип работы тепловизора	9
3. Экспериментальная часть	9
4. Результаты измерений	10
5. заключение	15
6. Список литературы	15

1. Введение

Термоэлектрические явления – совокупность физических явлений, обусловленных взаимосвязью между тепловыми и электрическими процессами в твердых проводниках [1]. Термоэлектрические явления широко используются при создании современной техники. Например, были изобретены термоэлектрические модули (ТЭМ), которые используются для создания термоэлектрических холодильников. Термоэлектрический модуль (ТЭМ) — это устройство, представляющее собой последовательно соединённые с помощью коммутационных пластин из меди полупроводников с р- и n- проводимостью. В основе работы термоэлектрического модуля лежит эффект Пельтье [2].

При протекании электрического тока через ТЭМ образуется разность температуры между поверхностями - в этом процессе одна из сторон охлаждается, а другая становится горячей. Если с горячей стороны термоэлектрического модуля отводить тепло, то на холодной поверхности температура может быть на десятки градусов ниже температуры окружающей среды. Тепловой эффект элемента Пельтье пропорционален силе тока, протекающего через контакты разнородных материалов, и представляется формулой:

$$Q_{\text{п}} = \Pi \cdot q,$$

где q – заряд, прошедший через контакты; Π – коэффициент Пельтье, зависящий от температуры и природы материалов. Количество ячеек Пельтье в ТЭМ варьируется в пределах от единиц до сотен пар, что способствует созданию эффективных холодильных установок практически любой мощности.

Плюсы ТЭМ заключаются в том, что из-за малых габаритов, экологической чистоты, бесшумной работы и способность охлаждать поверхности до низких температур (значительно ниже окружающей (до 140К)), сфера его применимости весьма обширна. Термоэлектрический модуль используется практически во многих областях: в науке, в медицине, в быту, космических аппаратах, автомобильных устройствах, компьютерной технике. Недостатки ТЭМ заключаются в относительно низком КПД, привязанности к источнику питания и высокой стоимости мощных модулей.

2. Теоретическая часть

2.1. Термопара

При соединении различных металлов, например, медный и константановой проволочек, с разной работой выхода электронов возникает контактная разность потенциалов (контактная ЭДС). Если создать цепь из медной и константановой проволочек с двумя спаями и один спай нагреть, а другой охладить, то в цепи возникает термо - ЭДС.

Концентрация электронов в двух частях цепи будет разная, тогда начнётся процесс диффузии электронов (при нагревании металлического проводника, на нагреваемом конце оказывается много электронов с высокой кинетической энергией) через границу раздела металлов. Электроны с высокой энергией диффундируют в сторону холодного конца, пока дальнейшей диффузии не воспрепятствует отталкивание со стороны избыточного отрицательного заряда накопившихся здесь электронов. Этим накоплением заряда и определяется термо - ЭДС, связанная с диффузией электронов. Следовательно, одна среда будет иметь положительный потенциал, другая — отрицательный и на границе образуется разность потенциалов. Если в цепи пропускать электрический ток от внешнего источника, то возникает разность температуры между двумя спаями. Один из спаев нагревается, а другой охлаждается. Если один спай нагреваем, а другой охлаждаем, то возникает термо – ЭДС- это явление называется эффектом Зеебека. Обратный эффект, возникающий при пропускании электрического тока через замкнутую цепь, состоящую из двух спаев разнородных металлов, называется эффектом Пельтье. На этом эффекте Зеебека основана работа термопар, используемых для измерений и контроля температур в различных устройствах. На эффекте Пельтье основана работа термоэлектрических холодильников. Для повышения эффективности работы холодильных устройств используется многоспайные системы с подбором наиболее эффективных материалов (рис. 1).

УСТРОЙСТВО МОДУЛЯ ПЕЛЬТЬЕ

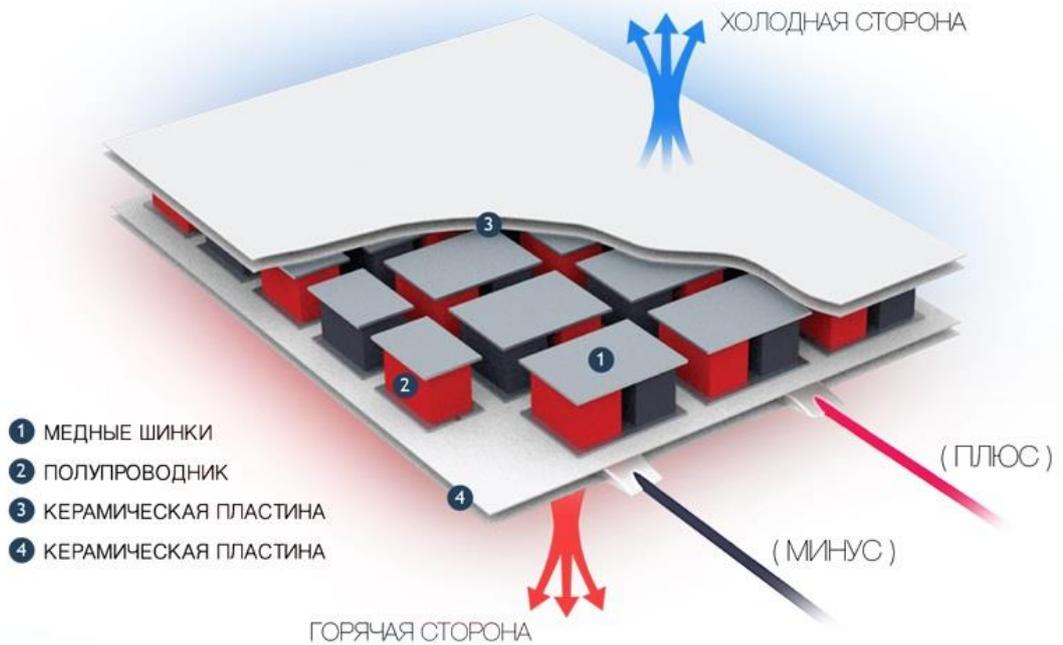


Рис.1 Устройство ТЭМ

2.2.Эффект Зеебека

При соединении полупроводников или разнородных металлов в цепь с двумя спаями, нагретыми до разных температур, возникает термо- ЭДС (эффект Зеебека). Если в этой цепи пропускать электрический ток, то на месте их спая в зависимости от направления тока температура спая или повышается или понижается. То есть в данном случае наблюдается обратный эффект- эффект Пельтье.

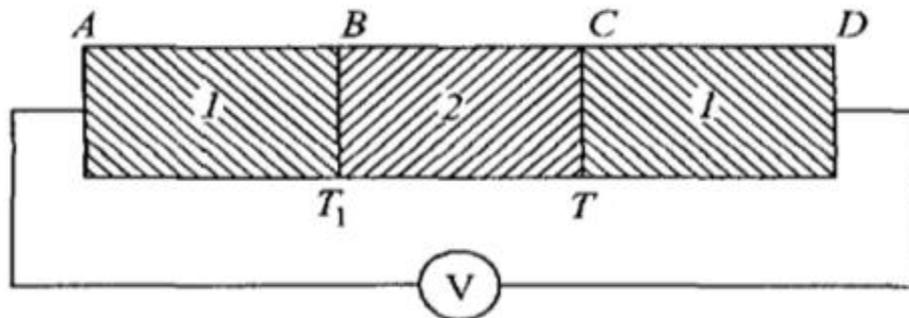


Рис.2 Схема соединения двух разнородных проводников

На рисунке 2 представлена схема соединения двух разнородных проводников. Если температуры спаев данных металлов одинаковые, то

вольтметр покажет значение 0, но если они различны в точках В и С, то контактные ЭДС не будут уравновешены, появится ток, при протекании которого возникнет напряжение. Описываемый эффект называют термоэлектрическим эффектом или эффектом Зеебека. В силу разности температур на проводниках, электроны будут обладать разной энергией, начнется процесс их диффузии от горячего спая к холодному. Вследствие этого, отрицательные заряды накопятся на холодном конце, а положительные на горячем, в результате этого появится напряжение, называемое объемной разностью потенциалов. Так же существует контактная разность потенциалов, возникающая из-за разной работы выхода электронов. В этом случае поток электронов из проводников будет различен. Проводники приобретут положительный и отрицательный заряд, образуется электрическое поле, где возникнет разность потенциалов, называемая контактной.

Обычно термо-ЭДС зависит от температуры нелинейно, но если их разность мала, то ее можно считать линейной

$$\varepsilon(T) = \alpha(T - T_1),$$

где α — чувствительность термопары (коэффициент термоэлектродвижущей силы).

2.3. Эффект Пельтье.

В 1834 году французский естествоиспытатель Жан-Шарль Пельтье открыл эффект, обратный эффекту Зеебека. Оказалось, что на месте контактов двух спаев проводников, состоящих из разных материалов, поглощается или выделяется тепло при прохождении через них электрического тока. Это явление назвали эффектом Пельтье. Причина появления данного эффекта в том, что на месте спая двух проводников образуется контактная разность потенциалов. При пропускании тока через их контакт электроны могут повести себя различно в зависимости от разности потенциалов, они либо ускорятся, отнимая энергию у вещества, из-за чего произойдет охлаждение в месте контакта, либо замедлятся, тогда источник напряжения потратит дополнительную работу, для поддержания уровня тока. Вся эта энергия образуется на месте спая двух разнородных проводников.

Выделяемое или поглощаемое тепло Пельтье пропорционально заряду q , прошедшему через спай [3]:

$$Q = P_{12} \cdot I \cdot t = (P_2 - P_1) \cdot I \cdot t$$

Где Q — кол-во поглощённого или выделенного тепла, I — сила тока, t — время протекания тока, Π — коэффициент Пельтье, связанный с коэффициентом Зеебека:

$$\Pi = T\Delta\alpha$$

где T — абсолютная температура, $\Delta\alpha$ — разность коэффициентов термоэлектрических проводников.

2.4 . Эффект Томсона.

Эффект Томсона является обобщением эффектов Зеебека и Пельтье и заключается в том, что в однородном неравномерно нагретом проводнике при протекания постоянного электрического тока образуется неравномерное распределение зарядов, следовательно при наличии градиента температур возникает электрическое поле. От направления тока зависит поглощение или выделение теплоты

$$Q = -\tau * (\nabla T * j) * dt * dV$$

где Q — количество теплоты поглощаемое или выделяемое в проводнике, τ — коэффициент Томсона, j — объемная плотность тока.

Разница эффекта Томсона от эффекта Пельтье заключается в том, что в эффекте Томсона неоднородность проводников представляется разностью температур, а в эффекте Пельтье — разными химическими свойствами.

2.5. Полупроводники

Полупроводники — класс веществ, характеризующийся значениями удельной электропроводности, промежуточной между удельной электропроводностью металлов и хороших диэлектриков [1]. В полупроводниках концентрация носителей заряда намного меньше, чем концентрация атомов в них, основное отличие от проводников и диэлектриков - это удельная проводимость, которая варьируется между 10^{-2} — 10^8 Ом·см. Полупроводники N-типа имеют избыточное кол-во электронов, которые переносят отрицательный заряд. Полупроводники P-типа имеют нехватку электронов, зато обладают

избытком дырок (свободных мест для электронов), переносящих положительный заряд. Разнородные полупроводниковые материалы используются для создания ТЭМ.

2.6. Принцип работы тепловизора

Известно, что нагретые тела излучают, причём плотность энергии излучения определяется законом Планка [4]:

$$\rho(\nu, T) = \varepsilon \cdot 8\pi h / c^3 \cdot \nu^3 / (e^{(h \nu / kT)} - 1),$$

где T — абсолютная температура, ν — частота излучаемого света, h — постоянная Планка, k — постоянная Больцмана, c — скорость света, ε — коэффициент черноты. Работа тепловизора как раз основана на улавливании и обработке теплового излучения, которое зависит от распределения температур на поверхностях объектов. Материалы обладают поглощающей, излучающей и отражающей способностью. Тепловизор регистрирует картины температур и ассоциирует их с определенным цветом на дисплее компьютерного тепловизора. Разрешение данного устройства составляет 0,003-0,1К и диапазон спектра 8-14 мкм и 3-5,5 мкм. Помехами при работе с тепловизором могут служить атмосферные явления: снег, туман, дым и дождь.

3. Экспериментальная часть

Исследовалась эффективность охлаждения одной из поверхностей четырехкаскадного термоэлектрического модуля (Рис. 3). Была собрана экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 4.

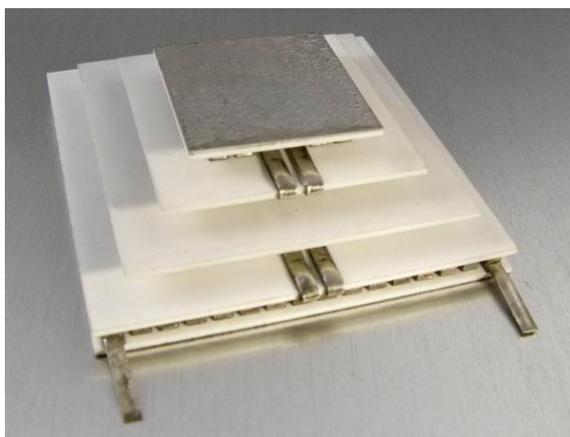


Рис. 3 Четырехкаскадный термоэлектрический модуль ТВ-4

Измерения температуры поверхностей четырехкаскадного термоэлектрического модуля проводилось термопарами и тепловизором

FLIR X6530sc. Показания тепловизора записывались на компьютер 6. С помощью ПО «FLIR ResearchIR» проведена обработка тепловизионных фильмов. Были получены распределения температуры на пластинах термоэлектрического модуля в зависимости от времени. К нижней и верхней пластинам термоэлектрического модуля 1 были присоединены спаи термопар 3, холодные спаи термопар были помещены в сосуд Дьюара со смесью снег, вода 4. Сигналы термопар измерялись микровольтметром 2. При протекании различного тока через термоэлектрический модуль с источника 5, охлаждалась верхняя граница четырехкаскадного термоэлектрического модуля и нагревалась нижняя.

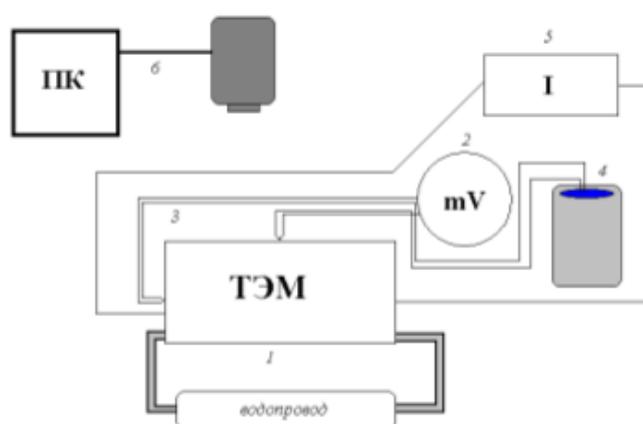
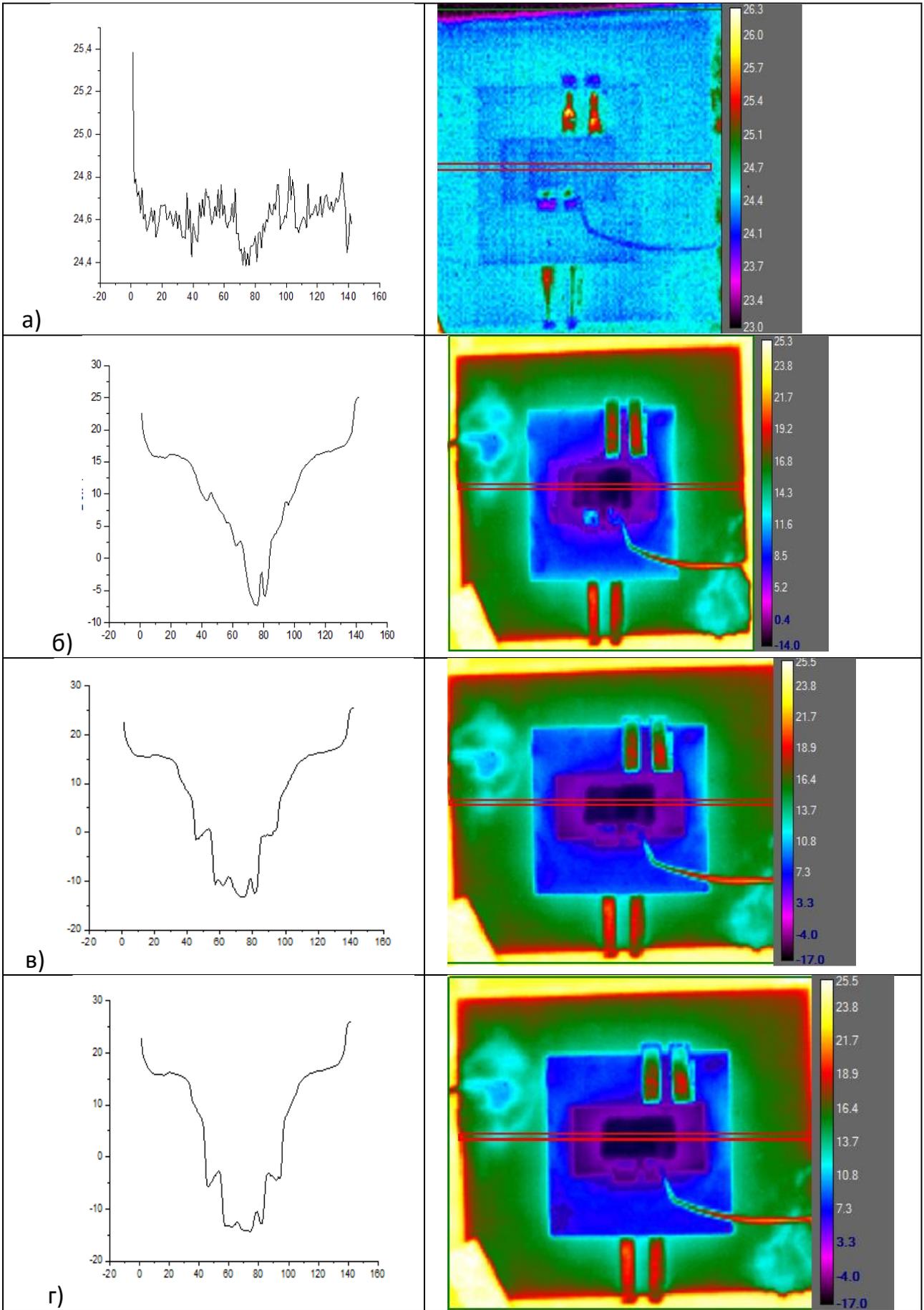


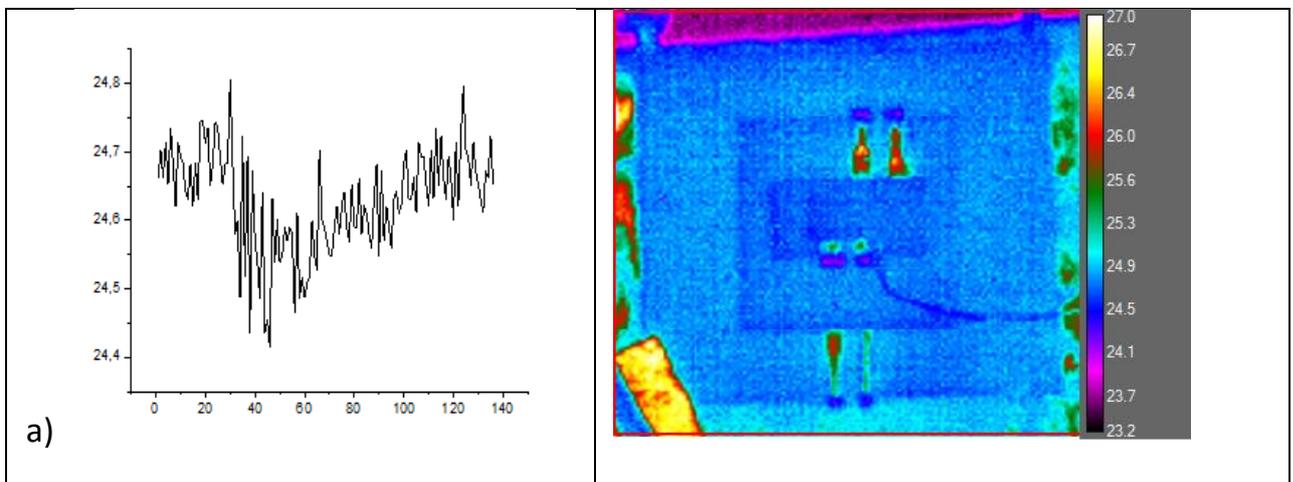
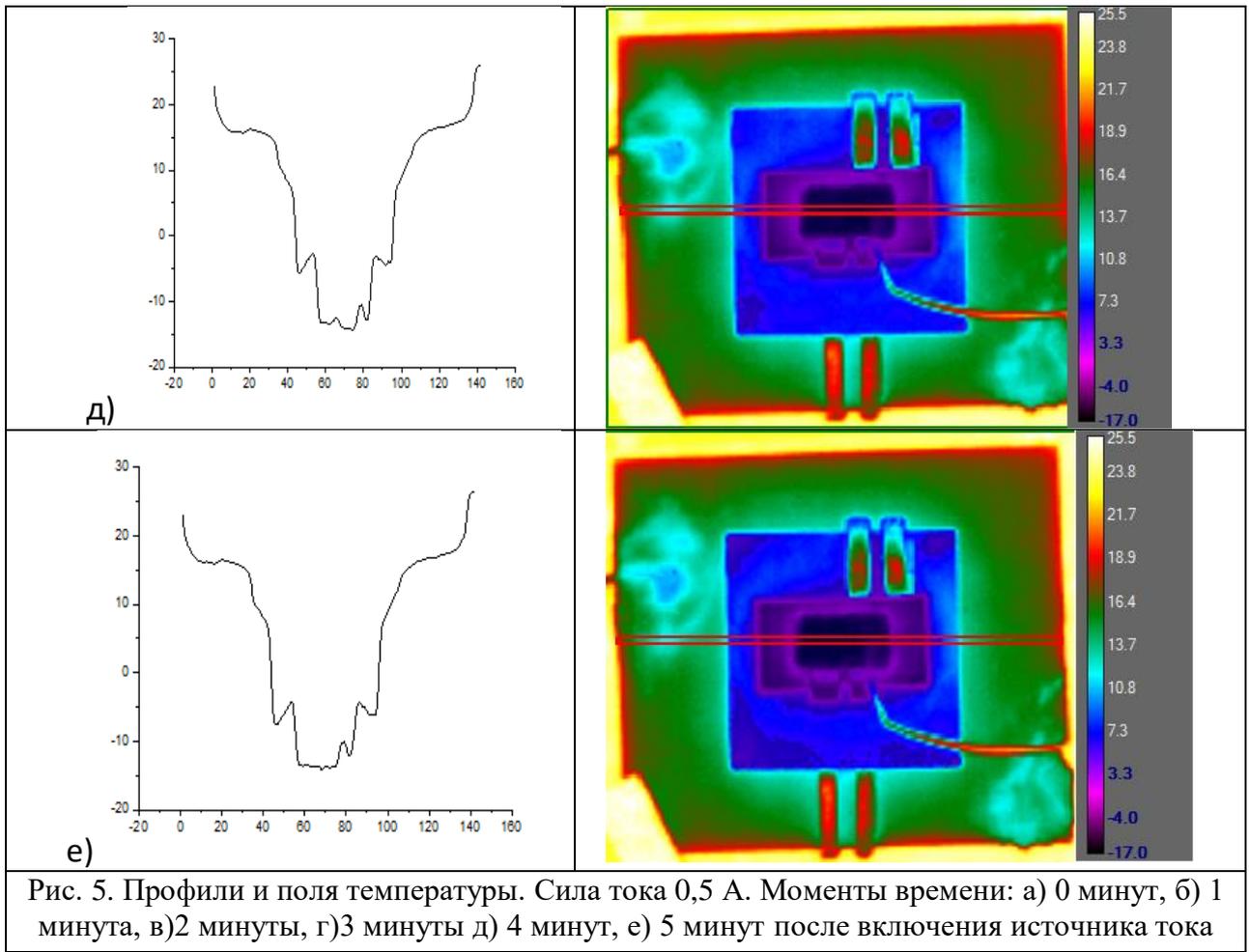
Рис. 4 Схема экспериментальной установки: 1 — четырехкаскадный ТЭМ, 2 — микровольтметр, 3 — термопары, 4 — сосуд Дьюара со смесью снега и воды, 5 — источник тока, 6 — тепловизор, соединённый с ПК

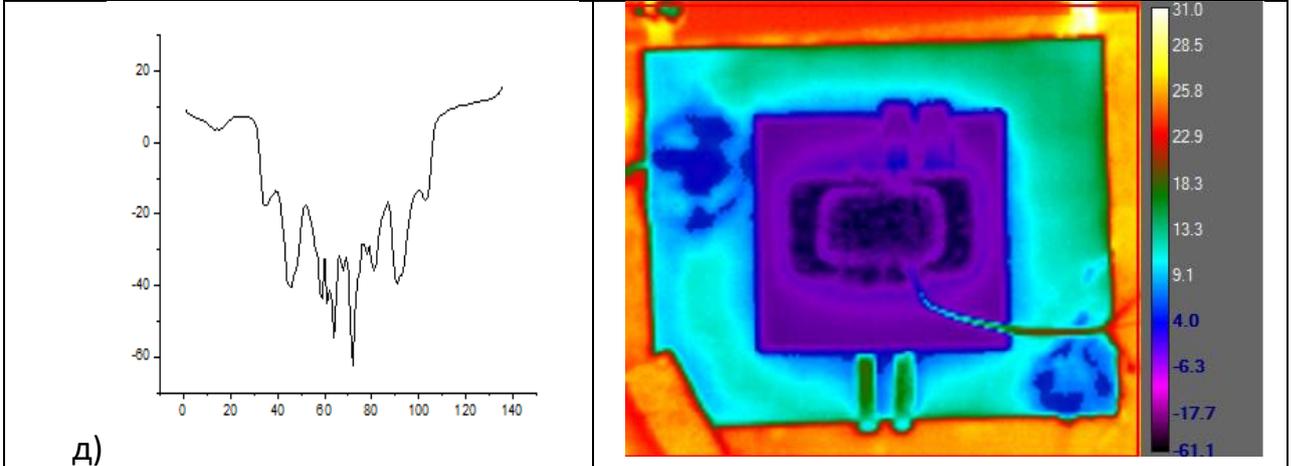
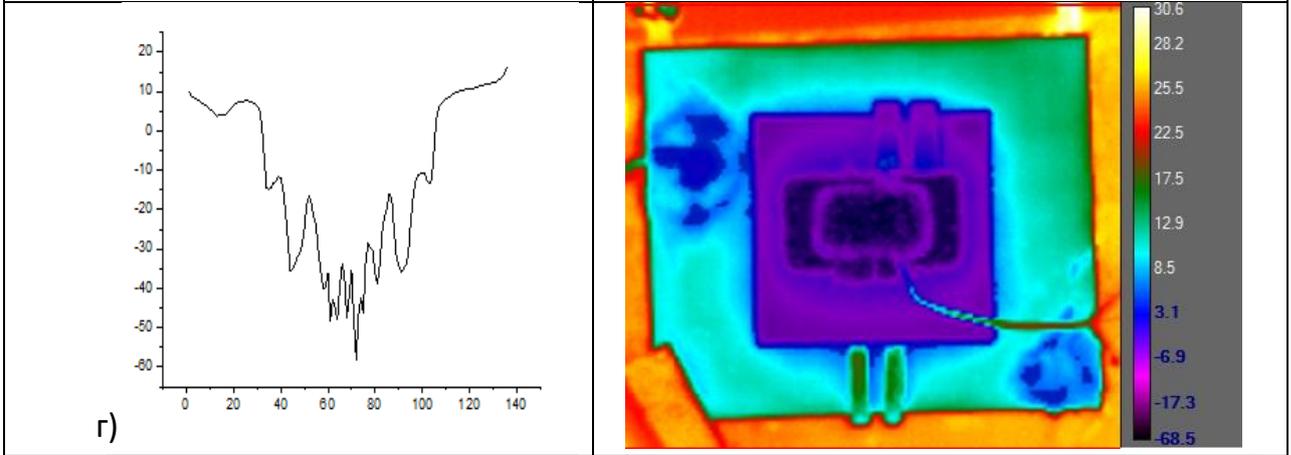
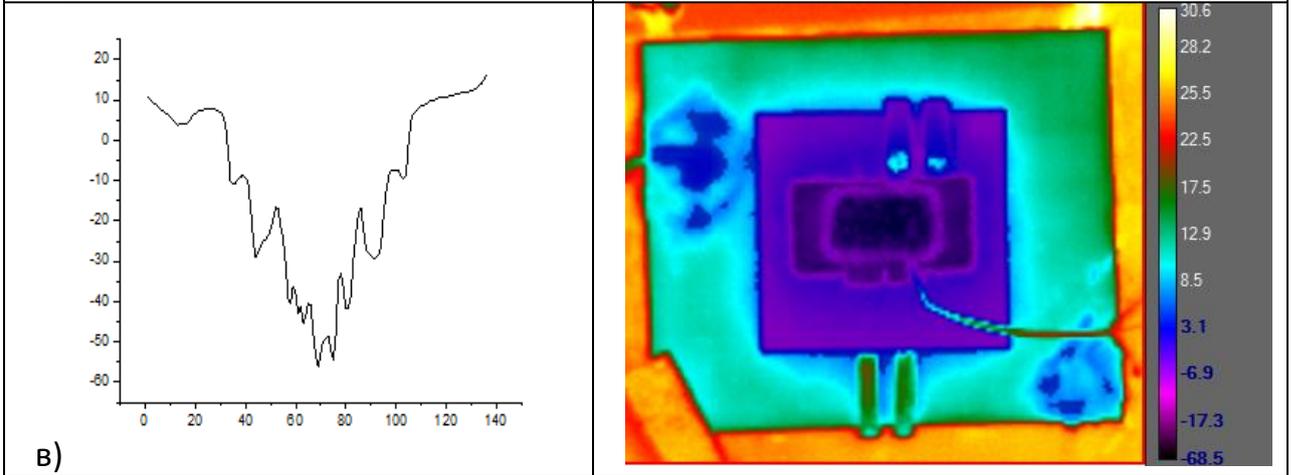
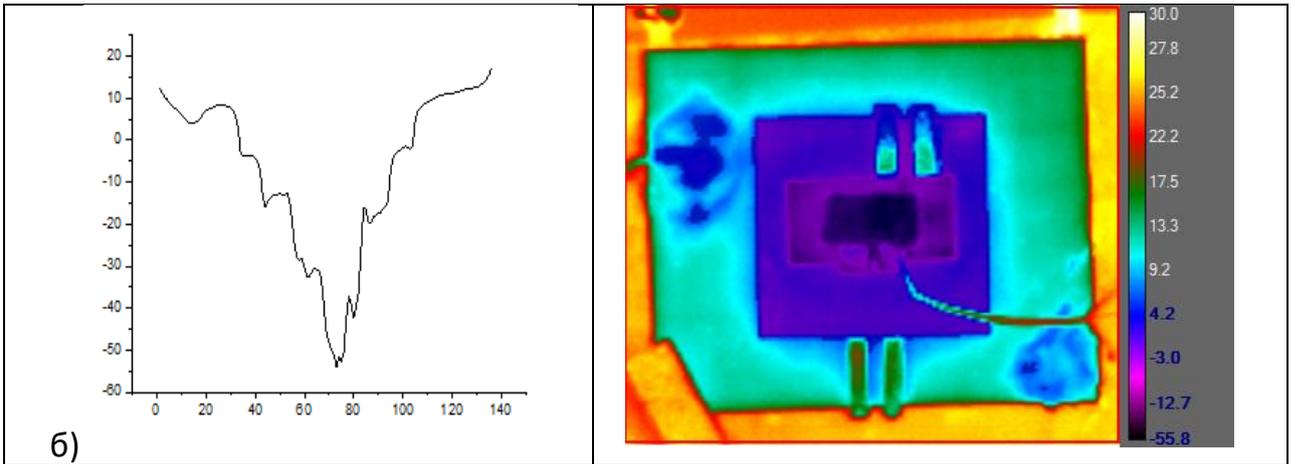
С источника (3) подается на термоэлектрический модуль (4) различный ток 500, 650, 750, 850, 1000 мА. Четырехкаскадный ТЭМ располагается на латунной пластине теплообменника, на их соединении нанесена термопаста. Тепло отводится при помощи прокачки водопроводной воды через теплообменник. В результате проделанной работы были получены распределения температур на пластинах четырехкаскадного ТЭМ.

4. Результаты измерений

Были получены распределения температуры на верхней площадке четырехкаскадного ТЭМ при помощи измерения термопарой и тепловизором, также получены распределения температуры в сечении по горизонтали в различные моменты времени (Рис. 5, 6).







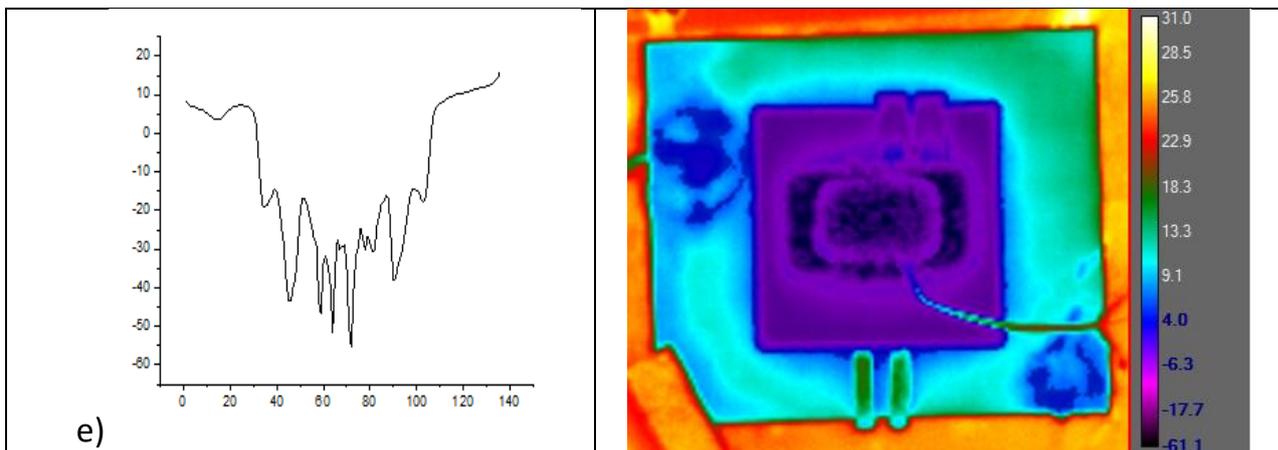


Рис. 6. Профили и поля температуры. Сила тока 1 А. Моменты времени: а) 0 минут, б) 1 минута, в) 2 минуты, г) 3 минуты д) 4 минут, е) 5 минут после включения источника тока

Были выявлены отклонения показаний термопары от тепловизионных данных, представленных на рисунке 7. Отклонения обусловлены неоднородностью полей температуры на охлаждаемых поверхностях.

В ходе работы выяснилось, что пластины охлаждаются неравномерно, и скорость их охлаждения растёт с ростом амплитуды пропускаемого тока, что видно из рисунке 8.

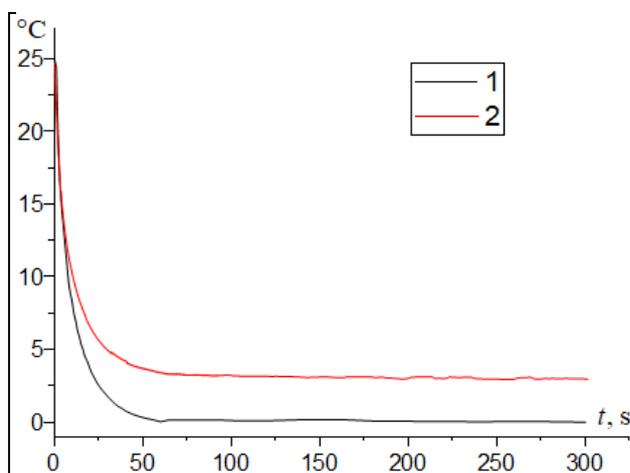


Рис.7. Сравнение показаний тепловизора (1) и термопары (2) при силе тока в 1 А

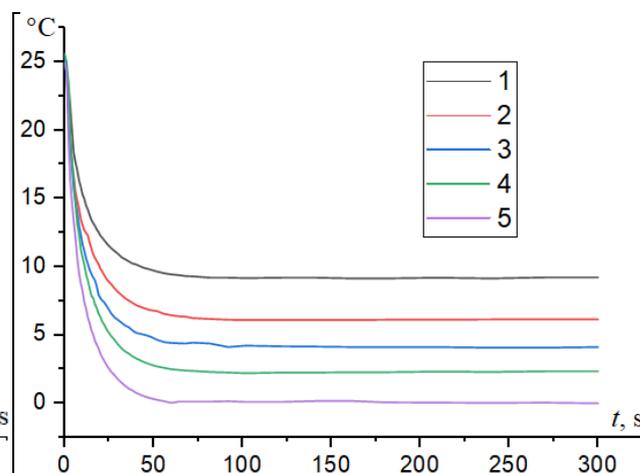


Рис.8. Зависимости показания термопары от времени для разных режимов работы источников тока (1- 0,5 А, 2- 0,65А, 3- 0,75А, 4- 0,85 А, 5- 1А)

5. Заключение

Изучена работа четырехкаскадного термоэлектрического модуля (ТЭМ). Освоена работа с современным тепловизором Flir X6530sc, позволяющим с высокой точностью измерять поля температуры на охлаждаемых поверхностях ТЭМ. Сняты тепловизионные фильмы нестационарных полей температуры на четырехкаскадном ТЭМ при различных силах тока, пропускаемого через ТЭМ. Выполнена компьютерная обработка тепловизионных фильмов с использованием стандартного пакета программ. Получены поля и профили температуры на поверхностях ТЭМ в различные моменты времени. Проведен сравнительный анализ показаний тепловизора и термопар и получены зависимости полей температуры на поверхностях ТЭМ от времени при различных силах тока.

6. Список литературы

1. Физический энциклопедический словарь Москва: «Советская энциклопедия », 1983. 757 с
2. А.Ф.Иоффе, Физика полупроводников. Изд. 2-е испр. и доп. изд. Москва; Ленинград : Изд-во АН СССР, 1957. 492 с.
3. Э.М. Спэрроу, Р.Д. Сесс, Теплообмен излучением: Пер. с англ, Изд-во «Энергия», 1971. 282 с.
4. С.Г. Калашников, Электричество.- Изд. 5-е, испр. и доп. Москва: Наука, 1985. 576 с.