

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Тарасов Игорь Александрович
КУРСОВАЯ РАБОТА

**«Исследование работы однокаскадного термоэлектрического
модуля»**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа 20304

Научный руководитель:

д. ф.-м. н. Бердников В.С.

Оценка научного руководителя

—

« _____ » _____ 2021 г.

Преподаватель практикума

ассистент Шестаков Ю.В.

Оценка преподавателя практикума

« _____ » _____ 2021 г.

Куратор практикума:

к.т.н. Астрелин В.Т.

Итоговая оценка

« _____ » _____ 2021 г.

Исследование работы однокаскадного термоэлектрического модуля

Тарасов Игорь Александрович

Физический факультет. Практикум по электричеству и магнетизму.

Курсовая работа.

Группа №20304, 3 семестр, 2021 год.

Научный руководитель:

д. ф.-м. н. **Бердников Владимир Степанович**

Аннотация

Проведено исследование работы однокаскадного термоэлектрического модуля (ТЭМ) при различных значениях тока, поданного с источника постоянного тока. С использованием тепловизора измерены поля температуры в зависимости от времени на поверхности плоского модуля ТЭМ при пяти значениях силы тока. Для контроля температуры на охлаждаемой поверхности ТЭМ дополнительно использовалась термопара. Были сняты и обработаны тепловизионные фильмы. Получены графики зависимости температуры на поверхностях ТЭМ от времени.

Ключевые слова: однокаскадный термоэлектрический модуль, элемент Пельтье, термопары, тепловизор.

Оглавление

Аннотация

1. Введение	4
2. Теоретическая часть	5
2.1. Термопары.....	5
2.2.Термоэлектрические эффекты.....	5
2.2.1. Эффект Зеебека.....	5
2.2.2. Эффект Пельтье	6
2.2.3. Эффект Томсона.....	6
2.3. Полупроводники.....	6
3. Описание установки и эксперимента.....	7
4. Результаты измерений.....	8
4.1. Результаты измерений тепловизором.....	8
4.2. Результаты измерений термопарами.....	12
5. Выводы.....	12
6. Литература.....	13

1. Введение

Во многих областях современной техники, особенно в микроэлектронике, становится всё более необходимым использование надёжных методов охлаждения элементов в электронных устройствах. Одним из таких методов является использование термоэлектрических модулей, исследование работы которых выполнено в данной работе.

Термоэлектрический модуль (ТЭМ) или элемент Пельтье-термоэлектрическое устройство (Рис. 1), в котором единичным элементом является термопара, состоящая из двух разнородных полупроводниковых элементов с р- и n-типами проводимости (рис. 1 а). Элементы соединяются между собой последовательно при помощи медных пластин. В стандартном термоэлектрическом модуле термопары помещаются между двух плоских керамических пластин. Принцип работы ТЭМ основан на эффекте Пельтье.

Данные элементы широко применяются из-за своей компактности, экологичности и малозатратности - нужно лишь подсоединить их к электрической цепи, по которой течёт ток, чтобы модуль начал свою работу- развил большую разность температур между охлаждаемой и нагреваемой поверхностями - до 76 К для однокаскадных модулей и до 140 К для четырёхкаскадных [3].

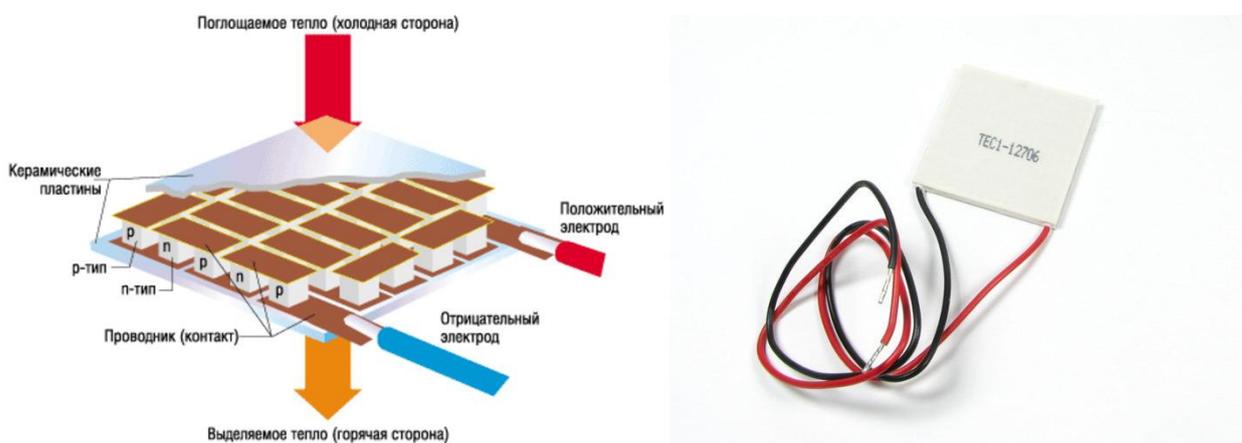


Рис. 1. Конструктивное исполнение и внешний вид ТЭМ.

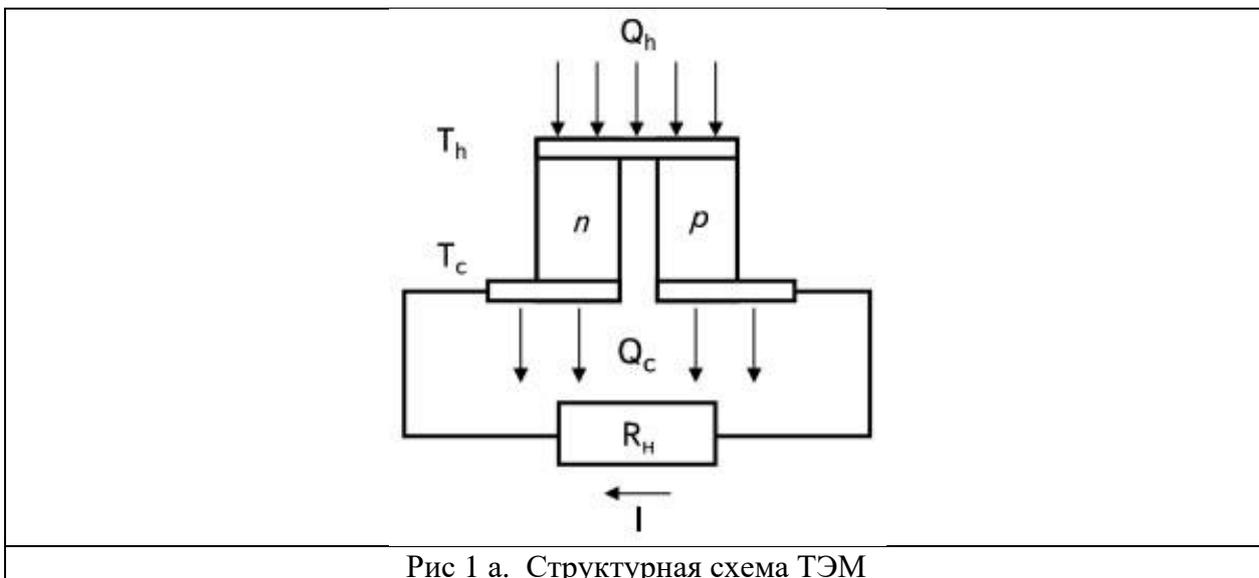


Рис 1 а. Структурная схема ТЭМ

2. Теоретическая часть

Термопары

Термопара является контактным датчиком температуры, состоящим из двух соединённых между собой разнородных электропроводящих элементов (обычно из металлических проводников, реже из полупроводников), обладающих разной работой выхода электронов. Место соединения этих элементов называется спаем. При поддержании разницы температур в местах спаев по всей длине термопары начинает возникать термо - ЭДС и протекать электрический ток. Действие термопары основано на эффекте Зеебека.

Термоэлектрические эффекты

Эффект Зеебека.

Данный эффект был открыт в 1821 году немецким учёным Зеебеком и заключается в следующем: при последовательном соединении двух и более разнородных проводников и поддержании между контактами разности температур, на их свободных концах возникает термоэлектродвижущая сила (термо-ЭДС) - E , которая зависит от термоэлектрических свойств материалов, из которых сделаны ветви электрической цепи, и от разности температур на горячем и холодном спае.

Данная величина описывается формулой:

$$\varepsilon = \alpha_{12}(T_2 - T_1),$$

где α_{12} - коэффициент термо-ЭДС, В/°С

Эффект Пельтье

Спустя 12 лет после открытия Зеебека другой учёный-физик Пельтье в 1834 году, проводя серию экспериментов, смог пронаблюдать за удивительным явлением: при пропускании тока через два соединённых различных проводника, вблизи их границы раздела возникает изменение температуры. Данный эффект называется эффектом Пельтье и описывается формулой:

$$Q = P_{12} \cdot I \cdot t,$$

где Q, Дж - количество тепла, выделяемое или поглощаемое (в зависимости от направления тока) границей проводников, I, А- сила тока в цепи, t, с- время протекания тока в цепи, P_{12} - коэффициент Пельтье:

$$P_{12} = \alpha_{12} \cdot T,$$

где T, °С - абсолютная температура контакта, α_{12} , В/°С- коэффициент термо-ЭДС.

Эффект Томсона

Спустя уже 30 лет после открытия Зеебека, Томсоном был открыт ещё один термоэлектрический эффект, наблюдаемый ещё Зеебеком: при прохождении тока I через однородный проводник, в котором существует градиент температур - ∇T , в нём начинает выделяться или поглощаться количество теплоты Q в зависимости от направления протекаемого в проводнике тока:

$$Q = \tau * (\nabla T * I) * dt,$$

где τ - коэффициент Томсона.

Данный эффект стал называться эффектом Томсона.

Полупроводники

Полупроводники – вещества, в которых концентрация носителей заряда много меньше, чем концентрация атомов в них, отличаются от диэлектриков и проводников своей удельной проводимостью (у проводников она порядка $10^{-6} - 10^{-3}$ Ом*см, у полупроводников $10^{-2} - 10^3$, у

диэлектриков $10^9 - 10^{20}$ Ом*см). От проводников отличаются также сильной зависимостью удельного сопротивления от температуры. К полупроводникам относятся: окислы металлов, сульфиды, а также химические элементы такие, как (Ge, Si, P, S, C и т.д.). Полупроводники различаются по типу проводимости, существуют полупроводники n- и p-типа. В полупроводниках n-типа основными носителями заряда являются электроны, а в полупроводниках p-типа - дырки.

3. Описание установки и эксперимента

Эксперименты были проведены в Институте теплофизики СО РАН на установке, схема которой изображена на рис. 2:

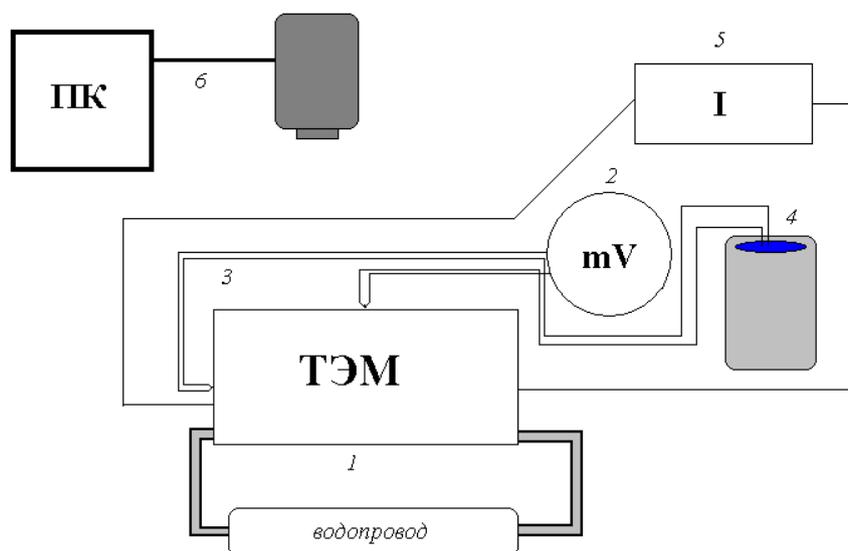


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 — ТЭМ (однокаскадный), 2 — микровольтметр Agilent 34401A, 3 — термопары, 4 — термостат со смесью лёд-вода, 5 — источник тока ТЕС 5020, 6 - тепловизор FLIR X6530sc, соединённый с ПК

Для изучения работы однокаскадного термоэлектрического модуля (1) он был положен на поверхность латунной подложки (теплообменника) с нанесённой на неё термопастой. К полости теплообменника подключались пластиковые трубки, по которым циркулировала вода для обеспечения надёжной теплоотдачи от нижней части модуля при протекании по нему тока. К контактам элемента Пельтье подключался источник тока (5). Далее

использовались два метода измерения температуры на поверхности модуля: тепловизионный и термопарный.

Для тепловизионного метода включался источник тока при определённом значении силы тока и производилась видеосъёмка верхней поверхности модуля в течение 5 минут тепловизором (б).

Для термопарного метода горячий спай термопары (3) подсоединили к нижней части модуля, а холодный опустили в термостат со смесью вода-лёд (4). Свободные же концы термопары были подключены к мультиметру (2), снимающему значения напряжения в микровольтах на термопаре при пропускании тока в течение 5 минут при определённом значении через модуль. Были проведены измерения полей температуры в 5 режимах: при силах тока $I = 0,5 \text{ A}$; $0,65 \text{ A}$; $0,75 \text{ A}$; $0,85 \text{ A}$ и 1 A .

4. Результаты измерений

4.1. Результаты измерений тепловизором

При помощи тепловизора FLIR X6530sc была произведена видеосъёмка верхней поверхности ТЭМ TEC1-12707 в течение 5 минут при 5 различных значениях тока, пропущенного через модуль - $0,5 \text{ A}$, $0,65 \text{ A}$, $0,75 \text{ A}$, $0,85 \text{ A}$, 1 A . Полученные видеофайлы обрабатывались в программе Origin 2021: при определённом режиме выбирались кадры тепловизионного фильма с интервалом времени одна минута. И определялось распределение температуры в сечении, проходящем по середине поверхности модуля (см. табл. 1, а). Строились профили температуры для данного режима (см. табл. 1, б-е).

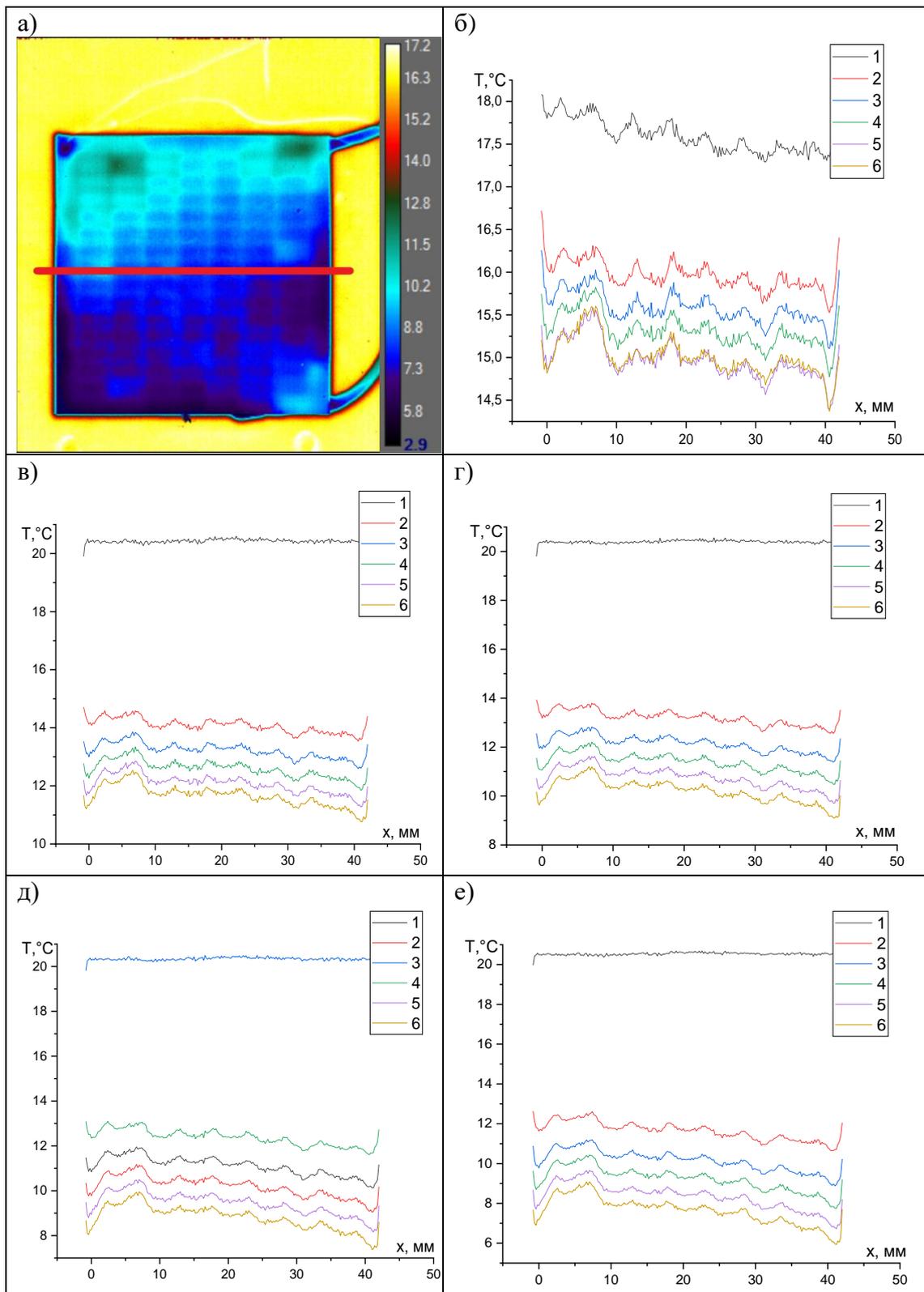


Таблица. 1. Профили температуры для разных режимов в различные моменты времени. (а – Положение прямой, вдоль которой строится профиль, б – профили при 0,5 А, в –0,65 А, г –0,75 А, д –0,85 А, е - 1 А. Моменты времени: 1 – 0 минут, 2 – 1 минута, 3 – 2 минуты, 4 – 3 минуты, 5 – 4 минуты, 6 – 5 минут от момента включения источника тока)

Из полученных графиков видно, что при пропускании тока через элемент Пельтье температура в выбранном сечении уменьшается со временем и чем больше величина тока, тем большую разность температур может выдать модуль на этом профиле.

Аналогичное наблюдение можно сделать, взглянув на полученный в дальнейшем график зависимости средней температуры на верхней поверхности модуля от времени для различных режимов тока (рис. 3).

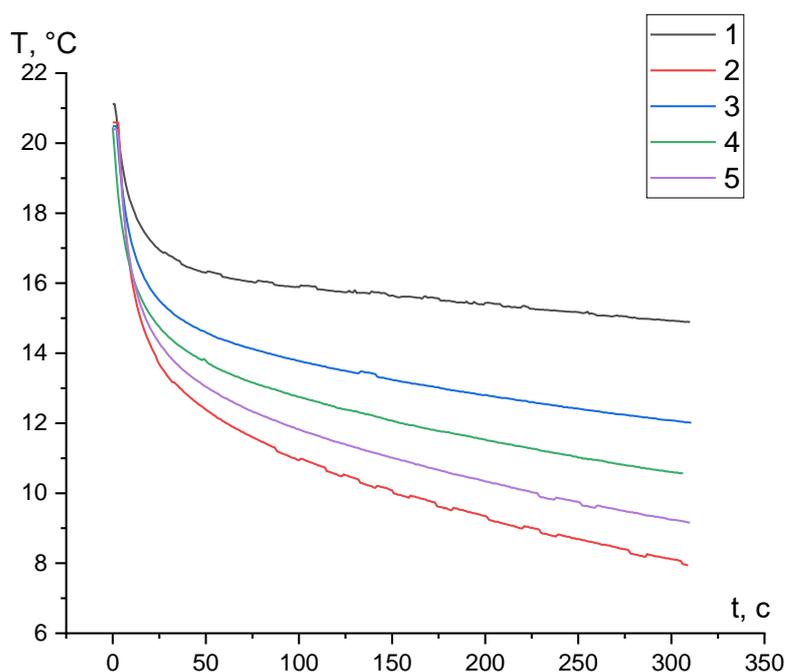


Рис. 3. График зависимости средней температуры на верхней поверхности модуля от времени при разных режимах тока: 1- при 0,5 А, 2- 1 А, 3- 0,65 А, 4- 0,75 А, 5- 0,85 А.

Также был получен тепловизионный фильм, отдельные кадры которого приведены в Таблице 2. Фильм был снят для определённого режима (1 А), в котором ТЭМ работает максимально эффективно.

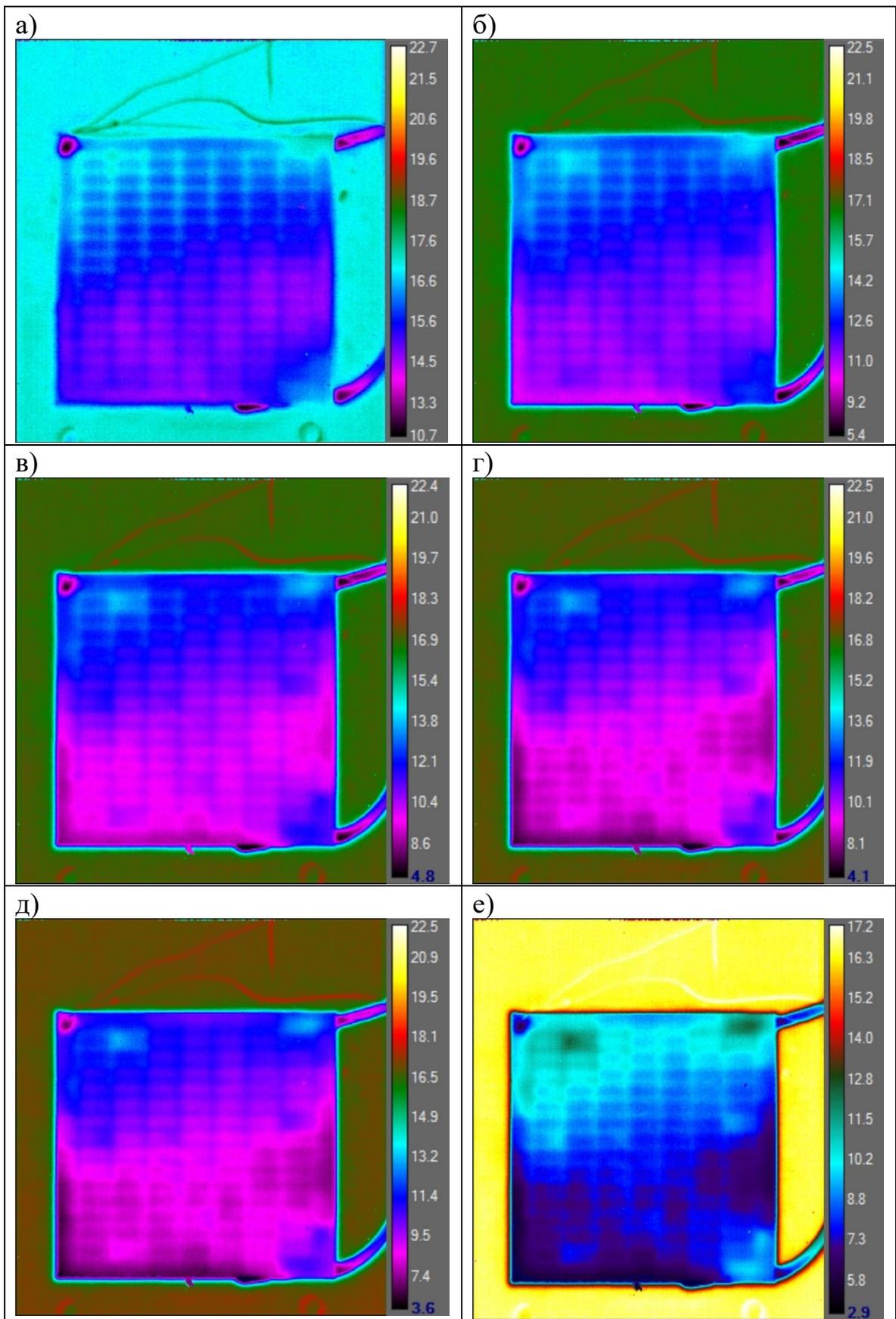


Таблица 2. Изменение поля температур на верхней поверхности модуля при 1 А в моменты времени: а- 0 минута, б- 1 минута, в- 2 минута, г- 3 минута, д- 4 минута, е- 5 минута.

4.1. Результаты измерений термопарами

Измерения температуры на нижней поверхности модуля производились с помощью термопары, выполненной из проволок нихрома и константана, подключенной к мультиметру Agilent 34401A, показания которого для каждого режима тока записывались на видеокамеру и так же обрабатывались в программе Origin 2021. Чувствительность термопары 40мкВ на 1°С учитывалась при переводе единиц измерения напряжения на микровольтметре (мкВ) в единицы измерения температуры (°С).

В итоге получился график зависимости температуры от времени для разных режимов в месте контакта термопары с поверхностью модуля (рис. 4). На рисунке 4 видно, что со временем температура сначала возрастала, достигая своего максимума для определённого режима, а далее – спадала, пока не установилась до определённой температуры.

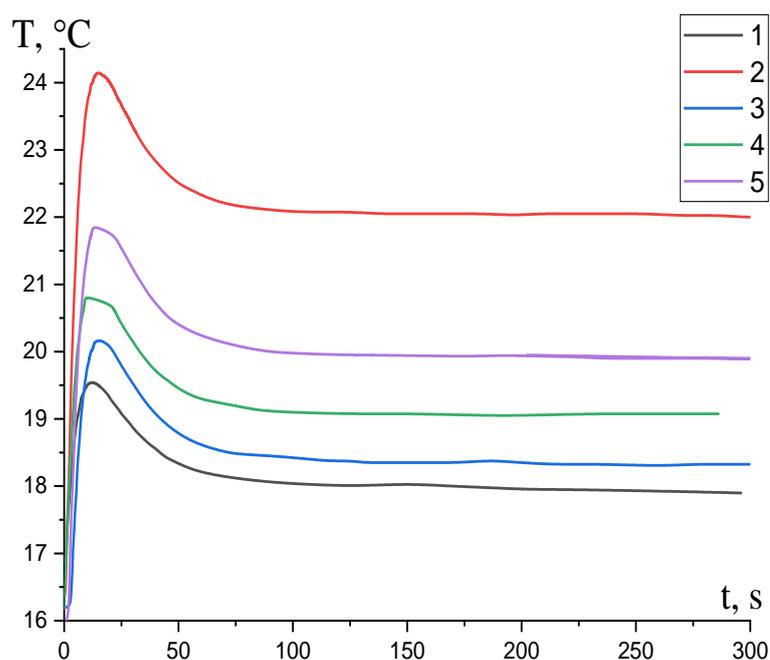


Рис. 4. График зависимости температуры на нижней поверхности модуля от времени в точке соединения с термопарой для разных режимов тока: 1- при 0,5 А, 2- 1 А, 3- 0,65 А, 4- 0,75 А, 5- 0,85 А.

5. Выводы

В ходе выполнения работы освоены принципы работы модуля ТЭМ, тепловизора и термопары и изучены основные способы измерения температуры на поверхности модуля. Были определены значения силы тока

при котором ТЭМ работает наиболее эффективно, т.е. при 1 А. С помощью тепловизора были сняты тепловизионные фильмы, по кадрам которых можно понять, что распределение температуры на поверхности ТЭМ неоднородно. В центральных сечениях на охлаждаемой поверхности модуля построены распределения температуры в различные моменты времени. В результате осреднения температуры по всей охлаждаемой поверхности модуля получены зависимости средней температуры от времени.

6. Список литературы

1. А.Ф.Иоффе, Физика полупроводников. Изд. 2-е испр. и доп. изд. М.; Ленинград: Изд-во АН СССР, 1957. 492 с.

2. С.Г. Калашников, Электричество.- Изд. 5-е, испр. и доп. М.: Наука, 1985. 576 с.

3. Петр Шостаковский Современные решения термоэлектрического охлаждения для радиоэлектронной, медицинской, промышленной и бытовой техники // Компоненты и технологии. 2009, № 12 . С. 120 - 126.

4. Физический энциклопедический словарь / под ред. А.М. Прохорова. - М: Советская энциклопедия, 1983

5. М.С. Соминский Полупроводники. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961