

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

УДК 553.536.68

Ковалёва  
Ольга Андреевна

Широкоформатные нагреватели из алюминия с наноструктурированным оксидом алюминия и углеродным резистивным элементом, их электрические и тепловые свойства

**АВТОРЕФЕРАТ**

магистерской диссертации на соискание степени  
магистра технических наук

по специальности 1-41 80 01 «Микро- и наноэлектроника»

---

Научный руководитель  
к-т. физ.-матем. наук, доцент  
Врублевский И. А.

---

Минск 2022

## ВВЕДЕНИЕ

Электрический нагрев по сравнению с другими видами нагрева (с использованием газа, жидкого или твердого топлива) имеет ряд существенных преимуществ. Он значительно улучшает санитарно-гигиенические условия жилых помещений. Газ значительно уступает электрическому нагреву в санитарно-гигиеническом отношении. При открытом горении газа выделяются как продукты полного его сгорания (углекислый газ, вода), так и продукты неполного сгорания, вредно действующие на здоровье людей (окись углерода, формальдегид, смолистые вещества и др.). При электронагреве таких вредных выделений нет. По сравнению с газовыми электроприборами взрывобезопасны.

Одним из видов электрического теплового элемента является плоский электронагреватель. Он используется как основной конструктивный элемент при создании экономичных тепловых приборов. Это объясняется тем, что метод контактной теплопередачи имеет более высокую эффективность передачи тепла от нагретого тела к холодному в сравнении с нагревом, излучением и другими видами теплопередачи.

Экономия электрической энергии в сфере стационарного отопления является одной из актуальных проблем современности. Новые приборы удовлетворяют всем экологическим, социальным, медицинским и пожарным требованиям.

Основным элементом любого нагревательного устройства является нагреватель. Плоские резистивные нагреватели нашли широкий спектр применения в нагревательных устройствах, которые предназначены для формирования здорового микроклимата в помещениях, поддержания параметров в различных технологических процессах, в создании систем антиобледенения, широко используемых в сельском хозяйстве и промышленных сферах.

Применение в конструкции нагревателя металлической основы с тонким диэлектрическим слоем создает условия для быстрой и равномерной передачи тепла к теплоприемнику. Быстрая передача тепла от резистивного элемента на металлическую пластину приводит к низкой инерционности конструкции и возможности выхода нагревателя в рабочий режим с наименьшими потерями тепла. Вот почему важной задачей является исследование и разработка элементов быстрого нагрева с равномерным распределением температуры по рабочей поверхности и высоким коэффициентом полезного действия за счет снижения потерь тепла.

# ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

## **Актуальность темы исследования**

С каждым годом в устройствах промышленного и бытового назначения находят применение все большее количество электронагревателей. Одним из массовых видов электрического теплового элемента является плоский электронагреватель, который используется в качестве основного конструктивного элемента при создании экономичных тепловых приборов. Это объясняется тем, что метод контактной теплопередачи имеет более высокую эффективность передачи тепла. Экономия электрической энергии в сфере стационарного отопления является одной из актуальных проблем современности.

Применение в конструкции нагревателя металлической основы с тонким диэлектрическим слоем из углеродного волокна создает условия для быстрой и равномерной передачи тепла к теплоприемнику. Быстрая передача тепла от резистивного элемента на металлическую пластину приводит к низкой инерционности конструкции и возможности выхода нагревателя в рабочий режим с наименьшими потерями тепла. Вот почему важной задачей является исследование и разработка элементов быстрого нагрева с равномерным распределением температуры по рабочей поверхности и высоким коэффициентом полезного действия за счет снижения потерь тепла.

## **Цель и задачи исследования**

**Целью** диссертации является разработка технологического процесса изготовления плоского нагревателя, исследование термограмм поверхностей на разных участках нагрева и установление закономерностей распределения тепловых потоков в плоских нагревательных элементах с ленточным элементом нагрева.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы **следующие задачи**:

- выявить достигнутый уровень научно-технических решений в формировании и практическом использовании плоских нагревательных элементов;
- разработать метод расчета нагревательных элементов из алюминия с углеродным волокном;
- провести анализ термограммы поверхности нагревательного элемента из алюминия в различные моменты времени нагрева;
- исследовать особенности нагрева нагревательного элемента со стороны углеродной нити и с противоположной стороны.

**Объектом** исследования является плоский нагреватель из алюминия с ленточным элементом нагрева из углеродного волокна.

**Предметом** исследований выступают характеристики, закономерности распределения тепловых потоков.

**Область исследования.** Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-41 80 01 «Микро- и наноэлектроника».

#### **Теоретическая и методологическая основа исследования**

В диссертации была использована экспериментальная база лаборатории НИЛ 5.3 НИЧ БГУИР.

Обработка статистических данных и визуализация процесса анализа проводилась с использованием OriginLab.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в установлении закономерностей распределения тепловых потоков в плоском нагревателе.

#### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Выбор значения тока 0,3 А обеспечивает безотказную работу ленточного нагревательного элемента из углеродного волокна в конструкции плоского нагревателя из алюминия.

**Теоретическая значимость** диссертации заключается в том, что сопротивление ленточного нагревательного элемента из углеродного волокна в диапазоне температур  $-20 - +150$  °С остается почти без изменений.

**Практическая значимость** диссертации состоит в разработке практических рекомендаций по использованию углеродного волокна в конструкциях плоских нагревательных элементов.

#### **Апробация и внедрение результатов исследования**

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в трёх опубликованных работах, из них 2 статьи в иностранных научных изданиях и 1 в научном журнале.

**Структура и объем работы.** Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованных источников, включающего 20 наименований. Общий объем диссертации – 51 страница.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** рассмотрено современное состояние развития и создания плоских нагревателей для использования в высокотехнологичных

устройствах, определены основные направления исследований, а также сформулирована актуальность темы диссертационной работы.

**В общей характеристике работы** представлены ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации, а также структура и объем диссертации.

**Первая глава** посвящена обзору публикаций по теме диссертации, методам получения, структуре и области применения плоских нагревателей, рассмотрено углеродное волокно: его получение и применение в качестве резистивного элемента.

**Во второй главе** описаны методики проведения измерений с помощью тепловизора и исследования углеродного волокна, его состава, микроструктуры.

**В третьей главе** представлены результаты расчетов, обозначены все формулы, которые необходимы для эксперимента. Продемонстрирована экспериментальная установка.

**Четвертая глава** посвящена непосредственно снятию термограмм с обеих сторон нагревательной панели. Представлены графики изменения температуры. Сделаны выводы по эксперименту.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Использование резистивного элемента из углеродной нити – эффективный способ нагрева алюминиевых нагревательных панелей; позволяет обеспечить равномерный профиль распределения по поверхности на всех этапах нагрева.

2. Электроизоляционные свойства алюминиевой нагревательной панели возможно значительно улучшить, если выполнить дополнительный изолирующий слой из стеклоткани с герметизацией силиконовым компаундом, одновременно с тонким слоем анодного оксида алюминия.

3. Перегрев углеродной нити не превышал 7 °С при электрической мощности 30 Вт. А, значит, предложенные решения для использования в конструкции нагревательной панели дополнительного слоя стеклосетки, не привели к ухудшению тепловых свойств диэлектрического слоя.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**

1–А. Чернякова К.В. Влияние температуры электролита на формирование морфологии пористой структуры анодного оксида алюминия

/ К.В. Червякова, Е.Н. Муратова, И.А. Врублевский, Н.В. Лушпа, О.А. Ковалёва, Ю.М. Спивак, С.С. Налимова, В.А. Мошников // Физика и химия стекла. – 2021. – Т.47. - №6. – с. 1-7.

2–А. Study of structural parameters of porous anodic oxide depending on electrolyte temperature / E. Muratova, I. Vrublevsky, K. Chernyakova, N. Lushpa, O. Kovalyova, S. Nalimova, V. Moshnikov // 2021 International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT).

3–А. Obtaining, properties and application of nanoscale films of anodic titanium dioxide on Ti-Al films for perovskite solar cells / I. Vrublevsky, K. Chernyakova, N. Lushpa, A. Tuchkovsky, O. Kovalyova, B. Tzaneva, V. Videkov // Proc. XXX International Scientific Conference Electronics – ET2021, September 15-17, 2021, Sozopol, Bulgaria.