

них лінз. За необхідністю стэнд можна трансформувати в компактний прилад, який би не поступався відомим аналогам.

Значним спрощенням у схемі, яка наведена в ISO 11979, є використання USB-мікроскопа. Його малі габарити, вага і безпосереднє з'єднання з ПК допомагає отримати достатньо точні результати вимірювань.

Подальші роботи слід спрямувати на дослідження конкретних інтраокулярних лінз за допомогою створеного стэнду.

#### **Література**

1. ГОСТ Р 51892-2002 (ISO 11979-1-99). Имплантаты офтальмологические. Интраокулярные линзы. Часть 1. Термины и определения. – Введ. 2003-01-01. – М.: Изд.-во стандартов, 2002. – V, 11 с.: ил.; 29 см.
2. Хомутов В. Н. Измерение дифракционной эффективности ДОО по многим порядкам дифракции / В. Н. Хомутов, А. Г. Полищук, В. В. Черкашин // Компьютерная оптика. – 2011. – Т. 35, №2. – С. 196 – 202.
3. ГОСТ Р 52038-2003 (ISO 11979-2-99). Имплантаты офтальмологические. Интраокулярные линзы. Часть 2. Оптические свойства и методы испытаний. Введ. 2004-01-01. – М.: Изд.-во стандартов, 2003. – IV, 16 с.: ил.; 29 см.
4. 150-A–1961 The US Military standard. Photographic lenses, § 5.1.1.7
5. Кирилловский В. К. Оптические измерения: учебное пособие по лабораторному практикуму / В.К. Кирилловский, Т.В. Точилина. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 117 с.
6. Инструкция по эксплуатации для цифрового usb-микроскопа Supereyes B005 (англ.). – Режим доступа URL:  
[http://masteram-online.ru/nfs/product/834160/file/Supereyes\\_B005\\_user\\_manual\\_eng.pdf](http://masteram-online.ru/nfs/product/834160/file/Supereyes_B005_user_manual_eng.pdf).

*Надійшла до редакції  
12 лютого 2014 року*

© Колобродов В. Г., Кучугура Є. О., 2014

УДК 681.7

### **ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ МОДЕЛИ АБСОЛЮТНО ЧЕРНОГО ТЕЛА НА ИЗМЕРЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ШУМУ РАЗНОСТИ ТЕМПЕРАТУР ТЕПЛОВИЗОРА**

*Кучеренко О. К., Ермоленко М. А.*

*Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт",  
г. Киев, Украина*

*В работе представлено влияние температурной зависимости коэффициента излучения излучающей поверхности модели абсолютно черного тела на погрешность оценки эквивалентной шуму разности температур (ЭШРТ). Произведена оценка процентного отклонения коэффициента излучения в указанном температурном диапазоне по отношению к его среднему значению при температуре  $T=420\text{K}$  для двух типов покрытий: сильно окисленной меди и черной оксидной пленки.*

*Также была определена процентная зависимость погрешности вычисления эквивалентной шуму разности температур для тепловизора AGA THV 680 LW в зависимости от температуры излучающей поверхности модели абсолютно черного тела, с учетом темпера-*

турной зависимости коэффициента излучения покрытий и при среднем значении коэффициента излучения покрытий.

**Ключевые слова:** эквивалентная шуму разность температур, излучательная способность, модель абсолютно черного тела, полупроводниковый нагреватель на эффекте Пельтье, тепловизор.

## **Введение**

Завершающей стадией производства тепловизионных приборов является проведение комплексных испытаний, подтверждающих расчетные характеристики этих приборов. Одной из таких характеристик является эквивалентная шуму разность температур (ЭШРТ). Для экспериментальной оценки ЭШРТ применяется стендовая аппаратура, составной частью которой есть тепловой излучатель в виде модели абсолютно черного тела (АЧТ). Наиболее современная реализация модели АЧТ строится на применении полупроводникового нагревателя на эффекте Пельтье. Равномерное распределение температуры по поверхности излучателя обеспечивается нагревом элементами Пельтье медной пластины. Радиационная температура пластины в большой степени зависит от коэффициента излучательной способности материала пластины. Приближение этого коэффициента к единице достигается применением специальных покрытий. Учет свойств этих покрытий влияет на результаты экспериментальной проверки значений ЭШРТ.

Принципам разработки стендовой аппаратуры для испытаний тепловизионных приборов посвящен ряд работ [1, 2]. Однако в этих работах не было произведено анализа влияния температурной зависимости коэффициента излучательной способности излучателя модели АЧТ на погрешность измерения ЭШРТ.

## **Цель работы**

Целью работы является анализ влияния температурной зависимости коэффициента излучательной способности излучателя модели АЧТ на погрешность экспериментальной оценки ЭШРТ тепловизионных приборов.

## **Постановка задачи**

ЭШРТ ( $\Delta T_{\Pi}$ ) – это разность эффективных температур протяженного объекта и его окружения, которая дает пиковый сигнал, равный эффективному напряжению шума системы. По результатам проведенных измерений ЭШРТ определяется по формуле [1]:

$$\Delta T_{\Pi} = (T_o - T_f) / (u_s : u_b), \quad (1)$$

где  $T_o$  - температура излучающей поверхности модели АЧТ;  $T_f$  - температура более холодного равномерного фона;  $u_s$  - пиковое напряжение сигнала возникающего под действием мгновенной облученности в плоскости входного зрачка объектива тепловизора;  $u_b$  - эффективное напряжение шума приемника вместе с предусилителем.

При проведенні вимірювань тепловізор реагує не на абсолютну температуру випромінюючої поверхності  $T_p$  моделі АЧТ, а на її радіаційну температуру  $T_r$ . Св'язь між радіаційною та абсолютними температурами визначається співвідношенням [1]:

$$T_i = T_p \cdot \sqrt[4]{1/\epsilon}, \quad (2)$$

де  $\epsilon$  - коефіцієнт випромінювання випромінюючої поверхності моделі АЧТ.

Оцінка значень ЕШРТ проводиться для визначеного діапазону температур, які можуть бути зареєстровані тепловізором. Цей діапазон для сучасних пристроїв може складати від  $-20^\circ\text{C}$  до  $+600^\circ\text{C}$ . Значення  $\epsilon$  залежить від температури, а це впливає на похибку експериментальної перевірки ЕШРТ. Задача нинішньої статті полягає в тому, щоб оцінити вплив температурної залежності  $\epsilon$  на похибку оцінки ЕШРТ. При проведенні досліджень передбачалося, що обидва покриття є сірими тілами.

### Результати роботи і їх обговорення

Для вимірювання ЕШРТ застосовується стенд, схема якого наведена на рис. 1[3].

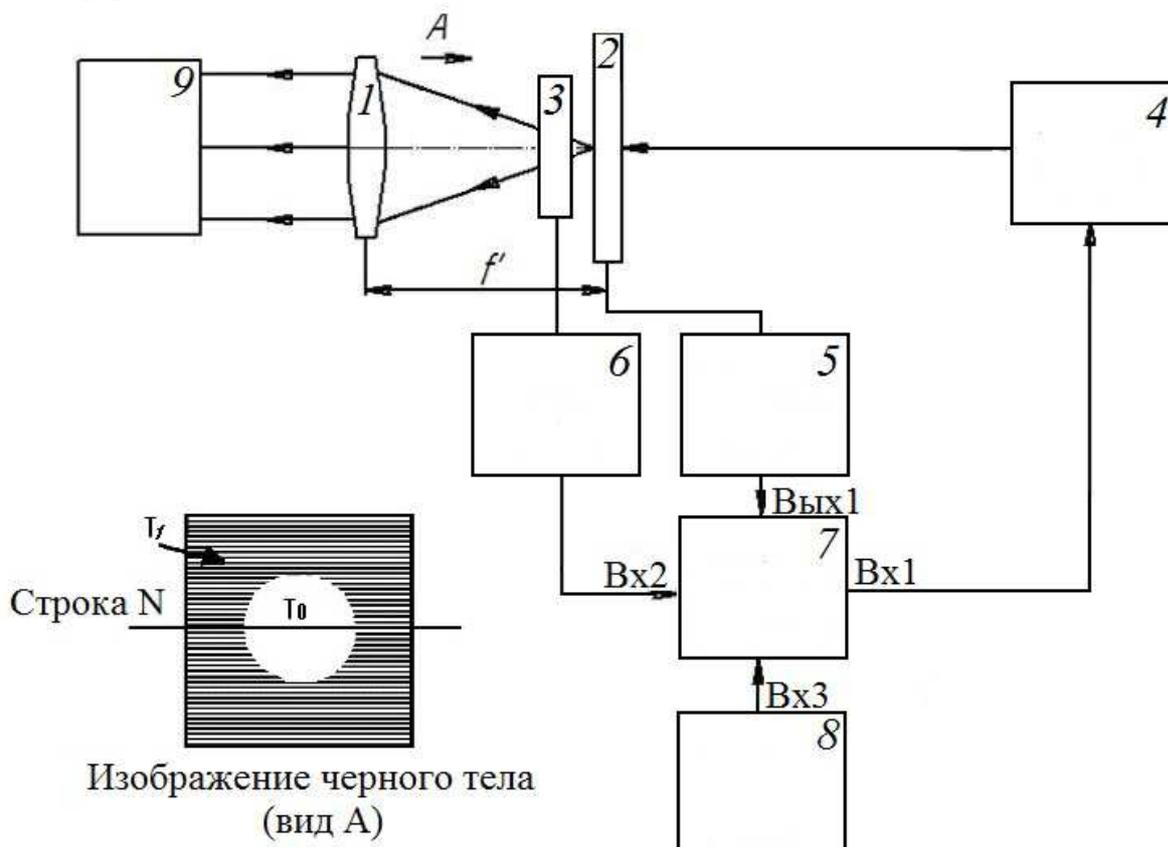


Рис. 1. Стенд для вимірювання ЕШРТ тепловізійних пристроїв

Стенд містить інфрачервоний коліматорний об'єктив 1, в фокальній площині якого розташована площина випромінювача 2 моделі АЧТ. Перед площиною випромінювача розташована охолоджуєма маска, імітуюєма фон 3.

В состав стенда входят также: контроллер 4 модели АЧТ, датчик 5 температуры излучателя модели АЧТ, датчик 6 температуры охлаждаемой маски, температурный процессор 7, датчик 8 температуры окружающей среды, исследуемый тепловизионный прибор 9.

Для максимального приближения модели АЧТ к идеальному излучателю его медная пластина может быть покрыта черной оксидной пленкой или может быть применена сильно окисленная медь. Коэффициенты излучательной способности этих покрытий в зависимости от температуры показаны на рис. 2.

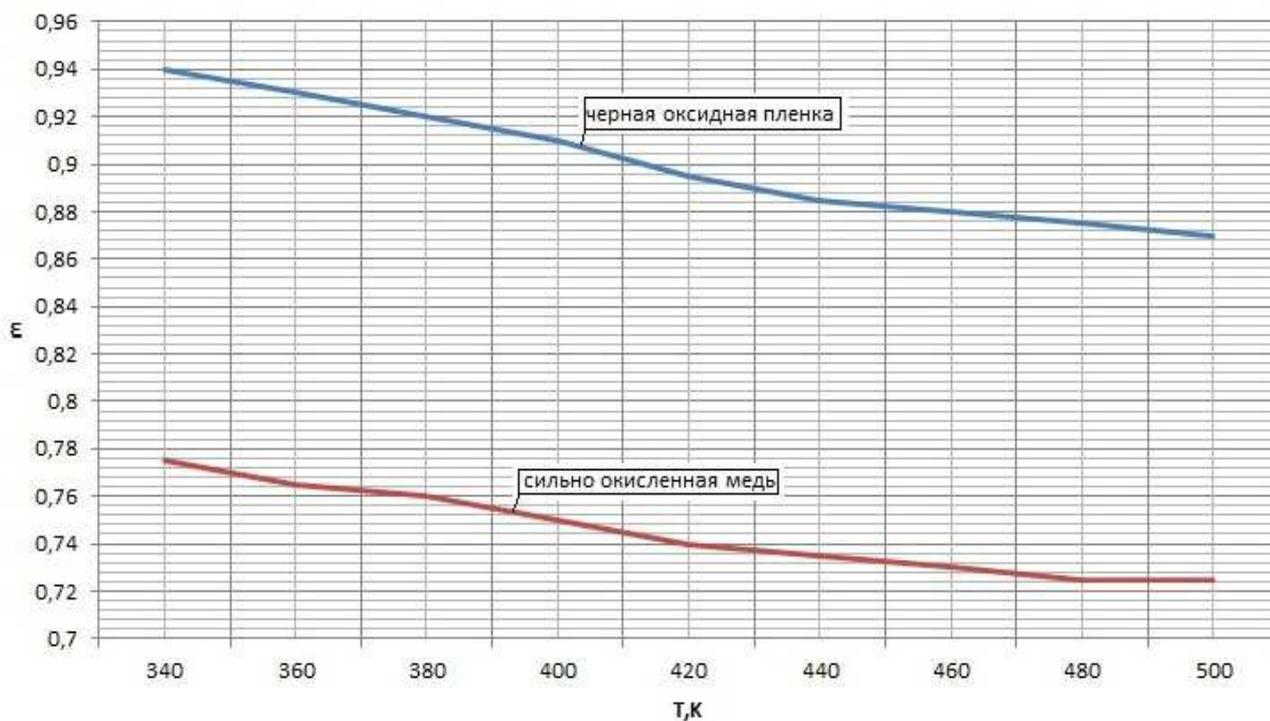


Рис. 2. Излучательная способность покрытий в зависимости от температуры

На основании приведенных графиков была произведена оценка процентного отклонения  $\epsilon$  в указанном температурном диапазоне по отношению к его среднему значению при температуре  $T = 420\text{К}$ . График этих зависимостей приведен на рис. 3.

Из графика на рис. 3 следует, что в температурном диапазоне 340–500К отклонение  $\epsilon$  от среднего значения составляет 3–5%.

Для проведения дальнейшего анализа воспользуемся типичными значениями пикового напряжения сигнала, возникающего под действием мгновенной облученности в плоскости входного зрачка объектива тепловизора  $u_s$  и эффективного напряжения шума приемника вместе с предусилителем  $u_b$ . Например, для тепловизора AGA THV 680 LW величина  $u_s$  при температуре 340К равна 0,7 В и далее при возрастании температуры до 500К эта величина линейно увеличивается. Эффективное напряжение шума составляет  $u_b = 2,6\text{ мВ}$  [1].

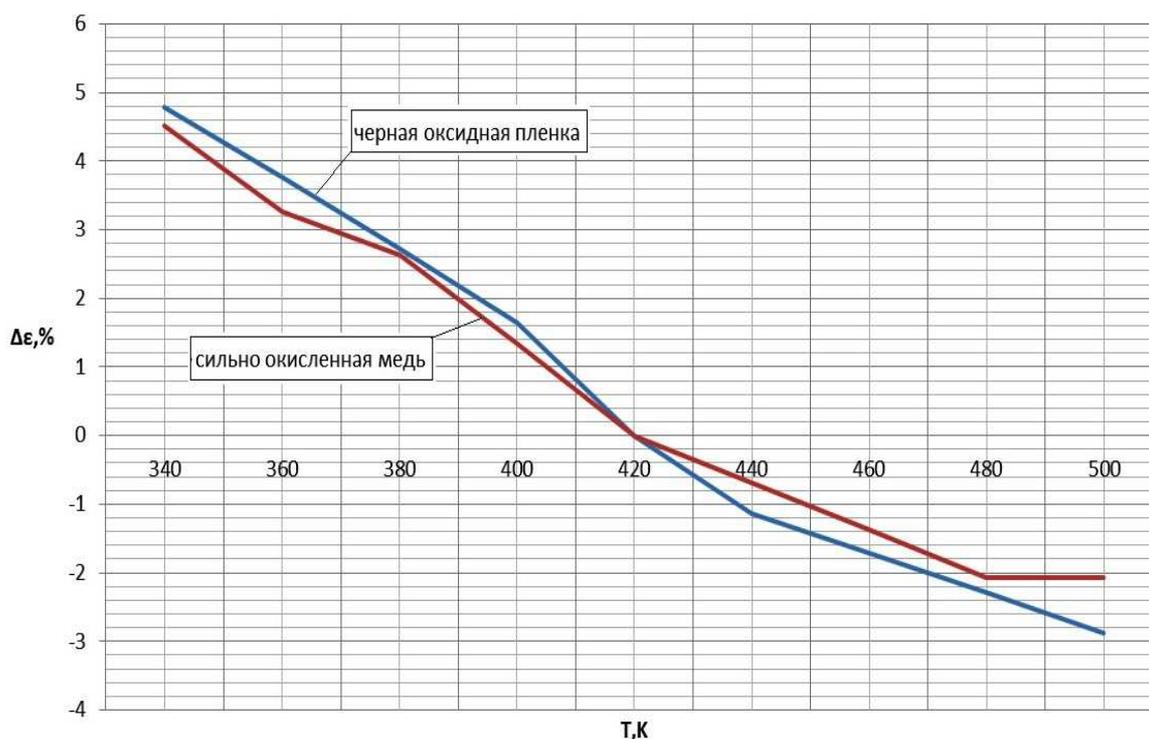


Рис. 3. Процентное отклонение  $\varepsilon$  при изменении температуры для двух типов покрытий

На практике указанные значения  $u_s$  соответствуют не абсолютной температуре  $T_{\Pi}$  излучающей поверхности модели АЧТ, а ее радиационной температуре  $T_p$ , которая для рассматриваемых покрытий с учетом известных значений  $\varepsilon$  может быть вычислена по формуле (2). Вследствие этого ЭШРТ вычисляется с погрешностью.

Нами была определена процентная зависимость этой погрешности в зависимости от температуры излучающей поверхности модели АЧТ для двух типов покрытий по формуле:

$$\Delta(\%) = \frac{\Delta T_{\Pi} - \Delta T_p}{\Delta T_{\Pi}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где  $\Delta T_{\Pi}$  – ЭШРТ вычисленная на основе абсолютных температур излучающей поверхности модели АЧТ;  $\Delta T_p$  – ЭШРТ, вычисленная на основе радиационных температур излучающей поверхности модели АЧТ.

Температура фона принималась постоянной и равной  $T_f=293\text{K}$ . Вычисления по формуле (3) проводились для средних значений  $\varepsilon$  в указанном температурном диапазоне, а также с учетом температурной зависимости  $\varepsilon$ .

На рис. 4 приведены значения  $\Delta = f(T)$ , когда в расчетах учитывалась средняя величина  $\varepsilon$ , а на рис. 5 значения  $\Delta(\%)$ , но с учетом температурной зависимости  $\varepsilon$  для двух типов покрытий.

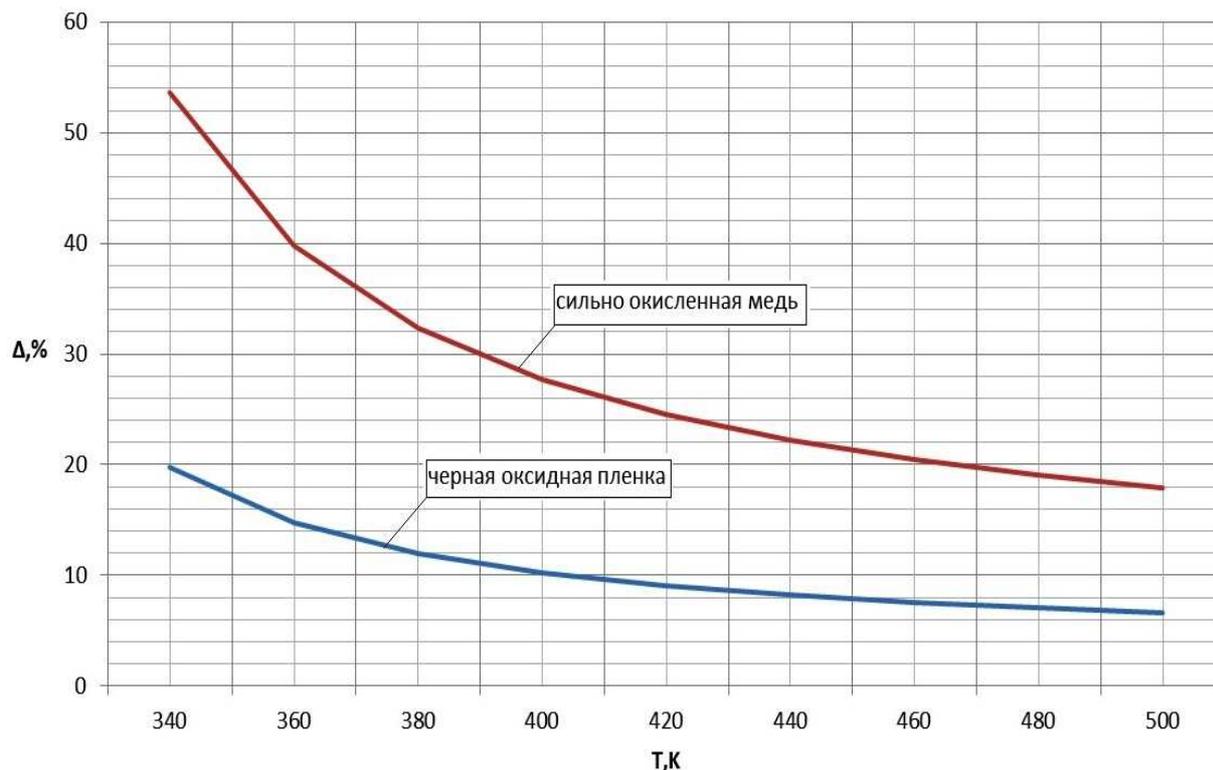


Рис. 4. Относительная погрешность определения ЭШРТ при среднем значении  $\varepsilon$

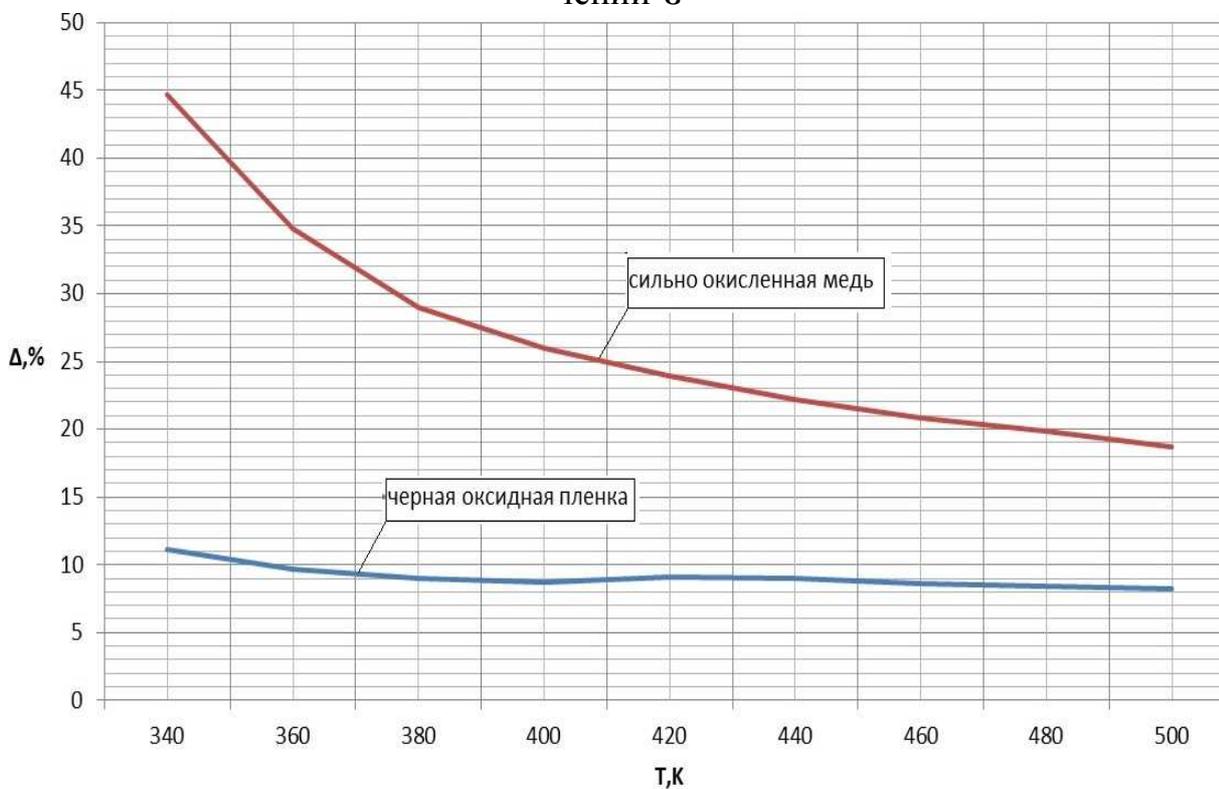


Рис.5. Относительная погрешность определения ЭШРТ с учетом температурной зависимости  $\varepsilon$

## **Выводы**

Одной из основных характеристик тепловизора является ЭШРТ. При экспериментальном определении ЭШРТ необходимо знать радиационную температуру излучающей поверхности модели АЧТ. Эта температура определяется типом покрытия излучающей поверхности. Для модели АЧТ использующей полупроводниковые нагреватели на эффекте Пельтье целесообразно применять в качестве излучающей поверхности нагреваемую медную пластину с двумя типами покрытий: черная оксидная пленка или сильно окисленная медь.

Необходимо учитывать, что излучательная способность этих покрытий  $\varepsilon$  зависит от температуры. Относительное отклонение  $\varepsilon$  для двух типов покрытий в температурном диапазоне 340–500К составляет 3–5%.

Различия в абсолютной и радиационной температурах излучающей поверхности модели АЧТ обуславливают погрешность экспериментального определения ЭШРТ тепловизора. Эта погрешность может оказаться значительной  $\approx(20-50)\%$  при минимальных температурах указанного температурного диапазона 340–500К.

Если при проведении расчетов ЭШРТ учитывать температурную зависимость  $\varepsilon$  то погрешность определения ЭШРТ может быть уменьшена. Например, для покрытия в виде черной оксидной пленки почти в два раза. Это является важным преимуществом этого покрытия по сравнению с сильно окисленной медью.

Учет рассмотренных в статье факторов и переход в ходе определения ЭШРТ от радиационных температур излучающей поверхности модели АЧТ к абсолютным температурам этой поверхности с учетом излучающих свойств покрытий позволит повысить точность определения ЭШРТ тепловизора.

Дальнейшие исследования будут направлены на анализ метода измерения минимальной разрешаемой разности температур тепловизора.

## **Література**

1. Госсорг Ж. Инфракрасная термография: монография. – М.: Мир, 1988. - 383 с.
2. Ллойд Д. Системы тепловидения: монография. – М.: Мир, 1978. - 416 с.
3. Пат. на корисну модель 85549 Україна, МПК (2006) G01M 11/02. Інфрачервоний коліматорний комплекс / О.К.Кучеренко, М.О.Єрмоленко. - № 201305948; заявл. 13.05.2013; опубл. 25.11.2013, Бюл.№ 22.

*Надійшла до редакції  
04 березня 2014 року*

© Кучеренко О. К., Єрмоленко М. О., 2014