

С. П. Русин

---

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИННОЙ  
ТЕМПЕРАТУРЫ  
НЕПРОЗРАЧНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ  
ПО СПЕКТРУ  
ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

---

**Компьютерное  
моделирование**



URSS

**С. П. Русин**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
ИСТИННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ  
НЕПРОЗРАЧНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ  
ПО СПЕКТРУ  
ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

**Компьютерное  
моделирование**



**URSS  
МОСКВА**

ББК 22.317 22.344 30.3 31.31 31.32

**Русин Сергей Петрович**

**Определение истинной температуры непрозрачных материалов по спектру теплового излучения: Компьютерное моделирование.**

М.: ЛЕНАНД, 2021. — 160 с.

Рассматриваются методы, основанные на бесконтактном определении термодинамической (истинной) температуры непрозрачного материала, когда его излучательная способность неизвестна. В качестве основного источника информации используется зарегистрированный спектр теплового излучения объекта измерения.

Наряду с известными методами предлагаются новые подходы и методы для бесконтактного определения температуры по излучению.

Книга рассчитана на научных работников, инженеров, аспирантов и студентов, интересующихся проблемой определения температуры по тепловому излучению.

**Рецензенты:**

ведущий научный сотрудник ОИВТ РАН,

канд. физ.-мат. наук *А. Ю. Башарин*;

руководитель лаборатории лазерного охлаждения и ультрахолодной плазмы

ОИВТ РАН, д-р физ.-мат. наук *Б. Б. Зеленер*

ООО «ЛЕНАНД». 117312, Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, д. 11А, стр. 11.

Формат 60×90/16. Печ. л. 10. Зак. № 158875.

Отпечатано в АО «Т 8 Издательские Технологии».

109316, Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корп. 5.

**ISBN 978-5-9710-8460-0**

(мягкая обложка)

**ISBN 978-5-9710-8461-7**

(твердый переплет)

© ЛЕНАНД, 2020



Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, а также размещение в Интернете, если на то нет письменного разрешения владельца.

# Оглавление

Предисловие .....	7
Введение .....	9
Список литературы .....	22
<b>Глава 1. Способы представления исходных данных. Оценки интервала, к которому принадлежит искомая температура.....</b>	<b>24</b>
1.1. Генерирование исходных данных в виде спектрального распределения интенсивностей $I_c(\lambda_i)$ .....	24
1.2. Исходные данные задаются в виде спектрального распределения относительных интенсивностей $\varepsilon_f(\lambda_i, T_f) = I_c(\lambda_i)/I_0(\lambda_i, T_f)$ .....	27
1.3. Исходные данные заданы в виде спектрального распределения яркостных температур $1/T_{rad}(\lambda_i)$ и $T_{rad}(\lambda_i)$ . Оценки величины искомой температуры.....	32
1.4. Исходные данные заданы в виде зависимости $c_2/(\lambda T_{rad})$ от $1/\lambda$ .....	37
1.5. Обсуждение и выводы .....	45
Список литературы .....	47
<b>Глава 2. Использование «серого» приближения для оценки истинной температуры материала по спектральному распределению обратных яркостных температур: графический аспект.....</b>	<b>48</b>
2.1. Зависимость $\ln \varepsilon$ от $\lambda$ линейно убывает в заданном спектральном интервале .....	52
2.2. Зависимость $\ln \varepsilon$ от $\lambda$ линейно возрастает в заданном спектральном интервале .....	58
2.3. Пример использования распределения обратных яркостных температур образца из вольфрама для оценки его истинной температуры .....	61

2.4. Выбор спектрального интервала (спектрального окна) .....	69
2.5. Обсуждение и выводы .....	72
Список литературы .....	74
<b>Глава 3. Формы представления исходных экспериментальных данных и методы определения истинной температуры объекта измерения по спектру теплового излучения.....</b>	<b>75</b>
3.1. Исходные данные заданы в виде спектрального распределения интенсивностей $I_c(\lambda_i)$ .....	76
3.2. Исходные данные заданы в виде спектрального распределения относительных излучательных способностей. Метод решения системы уравнений и проверка адекватности модели для $\varepsilon(\lambda_i)$ .....	77
3.2.1. Особенности постановки задачи и критерии адекватности моделей для $\varepsilon$ входным данным.....	77
3.2.2. Результаты вычислений. Проверка адекватности модели для $\varepsilon$ входным данным .....	80
3.3. Исходные данные заданы в виде спектрального распределения яркостных температур $1/T_{rad}(\lambda_i)$ и $T_{rad}(\lambda_i)$ .....	91
3.3.1. Исходная система уравнений и особенности метода решения.....	91
3.3.2. Результаты вычислений. Анализ точности.....	92
3.3.3. Уточнение решения системы (3.27) по Планку .....	100
3.4. Обсуждение и выводы .....	101
Список литературы .....	105
<b>Глава 4. Определение температуры материала по максимуму спектрального излучения .....</b>	<b>106</b>
4.1. Вывод формулы производной интенсивности собственного излучения по длине волны в точке максимума излучения объекта.....	106
4.2. Отклонение от закона смещения Вина для реальных материалов .....	110

---

4.3. Вычислительный эксперимент .....	112
4.4. Обсуждение и выводы .....	114
Список литературы .....	115
<b>Глава 5. Об определении температуры в присутствии потоков падающего излучения. Косвенная оценка температуры путем сравнения потоков излучения .....</b>	<b>116</b>
5.1. Основные соотношения.....	116
5.2. Все тела системы имеют одну и ту же термодинамическую температуру.....	118
5.3. Косвенная оценка истинной температуры объекта путем сравнения потоков излучения.....	120
5.3.1. Идентификация объекта, температура которого превышает допустимую величину.....	120
5.3.2. Идентификация человека, температура которого превышает допустимую величину.....	123
5.4. Обсуждение и выводы .....	125
Список литературы .....	126
<b>Послесловие.....</b>	<b>127</b>
<b>Приложение А. Основные понятия, определения. Законы теплового излучения.....</b>	<b>130</b>
1. Основные определения .....	130
2. Законы излучения абсолютно черного тела .....	138
3. Основные радиационные свойства поверхностей.....	142
4. Условные температуры и их связь с термодинамической (истинной) температурой непрозрачного тела.....	144
5. Соотношения между излучательной, поглощательной, отражательной и пропускательной способностью. Закон Кирхгофа.....	151
6. Закон Бугера .....	154

---

7. Специфика определения спектральной интенсивности объекта наблюдения через смотровое окно .....	155
7.1. Экспериментальный способ учета ослабления излучения смотровым окном .....	156
7.2. Расчетный способ учета ослабления излучения смотровым окном .....	156
Список литературы .....	159
<b>Приложение Б. Спектральная излучательная способность вольфрама.....</b>	<b>160</b>