

Ответы на экзаменационные вопросы.

1. Физические явления, приводящие к изменениям параметров зондирующей волны в исследуемом потоке.

Изменения параметров зондирующей волны происходят за счет:

- 1) Рефракции – теневой метод, шлирен метод, интерферометрия, голография.
- 2) Рассеяния.
- 3) Поглощение (рассеяние + поглощение – трассирование).
- 4) Переизлучения (люминесценции).
- 5) Эффектов нелинейной оптики.

2. Области применения и проблемы ИК термографии. Законы теплового излучения.

ИК – диапазон: 0,75 – 1000 мкм.

Метод ИК-термографии:

- 1) сканирование поля или 2D регистрация электромагнитного излучения с обтекаемой поверхности в ИК-диапазоне.
- 2) преобразование полученного поля из ИК в видимый диапазон с помощью тепловизора.

ИК-системы в индустрии:

- электроника (в пульте)
- автомобилестроение
- энергетика (солнечные батареи)
- легкая промышленность

ИК-системы в научных исследованиях:

- биология/зоология
- медицина
- ИК-микроскопия (до 3 мкм)
- авиация

При исследовании потоков:

Визуализация температурных полей на поверхности, обтекаемой потоком.

Преимущества:

- 1) возможность регистрации полей температуры и тепловых потоков в широком диапазоне. Чтобы расширить диапазон тело иногда покрывают тонким слоем черной краски с коэффициентом излучения 0,95 в диапазоне регистрации ИК.
- 2) 2D поля
- 3) движущиеся объекты в реальном времени
- 4) измерение в труднодоступных областях
- 5) неразрушительный анализ
- 6) обнаружение невидимых объектов

Недостатки (в основном связаны с системами регистрации ИК-излучения):

- 1) измерение только температуры поверхности, так как большинство материалов непрозрачны в ИК-диапазоне
- 2) радиометрическая цепочка:
объект → атмосфера → ИК-камера

То есть мы не регистрируем непосредственно сам объект. Необходимо учитывать рассеяние и поглощение атмосферы и настраивать предварительно ПО для тепловизора, вносить калибровочные поправки. Также само исследуемое тело отражает и пропускает излучение от других окружающих тел, и эти лучи также регистрирует камера, хотя это уже не собственное излучение самого тела.

- 3) Погрешность абсолютного определения температуры большинства современных камер - ± 2 К (относительная - $\pm 2\%$)
- 4) Ограниченная область регистрации (или разрешения). Самая большая матрица – 1024*1024
- 5) Необходимость охлаждения для фотонных ИК-детекторов. Из-за этого система громоздкая.
- 6) Инерционность приемников (то есть есть ограничение скорости для исследуемого потока).
- 7) Скорее всего исследуемый поток необходимо будет регистрировать через стекло. Но не все стекла прозрачны в ИК, необходимо подбирать материалы, пропускающие в ИК, а они дорогие.
- 8) На регистрацию ИК-излучения влияют внутренние свойства (материал, состояние, геометрия поверхности) и внешние факторы (температуры, угол наблюдения, длина волны излучения регистрации)

Исследуемый параметр:

число Нуссельта: $Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$, α – коэффициент теплопередачи, l – характерный размер, λ – теплопроводность поверхности.

Законы теплового излучения:

1. Закон Планка

$$R_{\lambda}(T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

(спектральное распределение энергии ЭМИ)

Приближения закона Планка:

- 1.1. формула Вина (малые $\lambda, \lambda T \ll \frac{hc}{k} \approx 3000 \text{ мкм} \cdot K$): $R_{\lambda}(T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} e^{-\frac{hc}{\lambda kT}}$
- 1.2. формула Рэлея-Джинса (большие $\lambda, \lambda T \gg \frac{hc}{k}$): $R_{\lambda}(T) = \frac{2\pi ckT}{\lambda^4}$

2. Закон смещения Вина.

$$\lambda_{\max} T = \text{const} = 2898 \text{ мкм} \cdot K$$

3. Закон Стефана-Больцмана (интегральный закон).

$$R_T = \int_0^{\infty} R_{\lambda}(T) d\lambda = \sigma T^4$$

4. Закон излучения Кирхгофа

$f(\lambda, T) = \frac{R(\lambda, T)}{\alpha(\lambda, T)}$, $f(\lambda, T)$ одинакова для всех тел при данных λ, T , независит от их формы и хим. состава.

Т.к. для АЧТ $\alpha(\lambda, T) = 1$, то $f(\lambda, T) = R_{\text{АЧТ}}(\lambda, T)$ Для произвольного тела: $R = \varepsilon R_{\text{АЧТ}}$, ε – степень черноты.

3. Люминесцентные покрытия. Бароиндикаторные покрытия. Температурные покрытия.

В ряде случаев, когда необходимо исследовать течения вблизи каких-либо поверхностей, применяют различные вещества, которые наносят на покрытие с целью получения информации о распределении того или иного параметра (скорости, давления, температуры и т.д.).

На покрытие наносят специальную краску, пленку или покрытие, реагирующие на локальное изменение параметра.

Температурные покрытия (+ анализ сдвига на поверхности, линий тока) – жидкие кристаллы на поверхности. Используют термооптические эффекты: чувствительность ЖК к изменению температуры и изменение длины волны отраженного света.

Главное – изменение цвета ЖК при изменении температуры! За пределом чувствительности – прозрачные на черном фоне, по мере повышения температуры в области чувствительности – от красного к фиолетовому. Диапазон: от -40 до 280°C . В одном опыте регистрируется изменение в несколько градусов – одна и та же изотерма видна.

Примеры:

- 1) Исследование вихревых структур при обтекании летательных аппаратов.
- 2) Проблема – течения с отрывами (большие скачки температуры при отрыве и присоединении потока обратно).

Бароиндикаторные и люминесцентные покрытия – измерение изменения давления на поверхности с помощью люминесцентных преобразователей давления (PSP – pressure sensitive paint). Придуманы в ЦАГИ (1970е) для исследования распределения давления на панели самолета.

Поверхности покрывают специальной краской (тонкий слой полимера), содержащей флуоресцирующее вещество, которое реагирует на парциальное давление кислорода. Метод основан на тушении люминесценции красителей кислородом воздуха. При тушении доля теряемой энергии пропорциональна концентрации кислорода, т.е. квантовый выход обратно пропорционален давлению.

$I_{\text{люм}} \sim \frac{1}{p}$, $I_{\text{люм}} \sim I_{\text{освещ}} \sim d_{\text{слой}}$. Для точного исследования используют опорную картину (без потока) и с потоком.

Давление вычисляется по эмпирической формуле: $p = A + B \left(\frac{I_{\text{репер}}}{I} \right) + C \left(\frac{I}{I_{\text{репер}}} \right)^2$.

Допущения:

- 1) Форма и положение модели совпадают в потоке и без него.
- 2) Распределение возбуждающего излучения остается неизменным.
- 3) Энергия возбуждающего излучения равны в потоке и без.
- 4) Отсутствие рассеивающих частиц.

Для уменьшения погрешностей используют два люминофора: реагирующий и опорный (реагирует только на начальную интенсивность).