

# Лекция 3. Измерение скорости ветра



## Лекция 3. Измерение скорости ветра

---

### Основные способы измерения скорости ветра

1. Индукционные ротоанемометры.

2. Импульсные ротоанемометры.

3. Акустические анемометры.

4. Лазерный доплеровский анемометр.

5. Тепловые электрические анемометры.

6. Анемометры сопротивления.

7. Искровые высокочастотные анемометры.

**Анемометры с  
движущимися  
частями.**

**Анемометры без  
движущихся  
частей.**

## **Лекция 3. Измерение скорости ветра**

---

### **Тепловые электрические анемометры**

**Тепловые электрические анемометры основаны на теплоотдаче нагретого тела. Чем больше скорость ветра, тем больше теплоотдача.**

**Следовательно, разность температур тела (например, проволоки, нагреваемой током) и окружающего воздуха зависит от скорости ветра.**

**Эту разность температур можно измерить например, с помощью термопары.**

## Лекция 3. Измерение скорости ветра

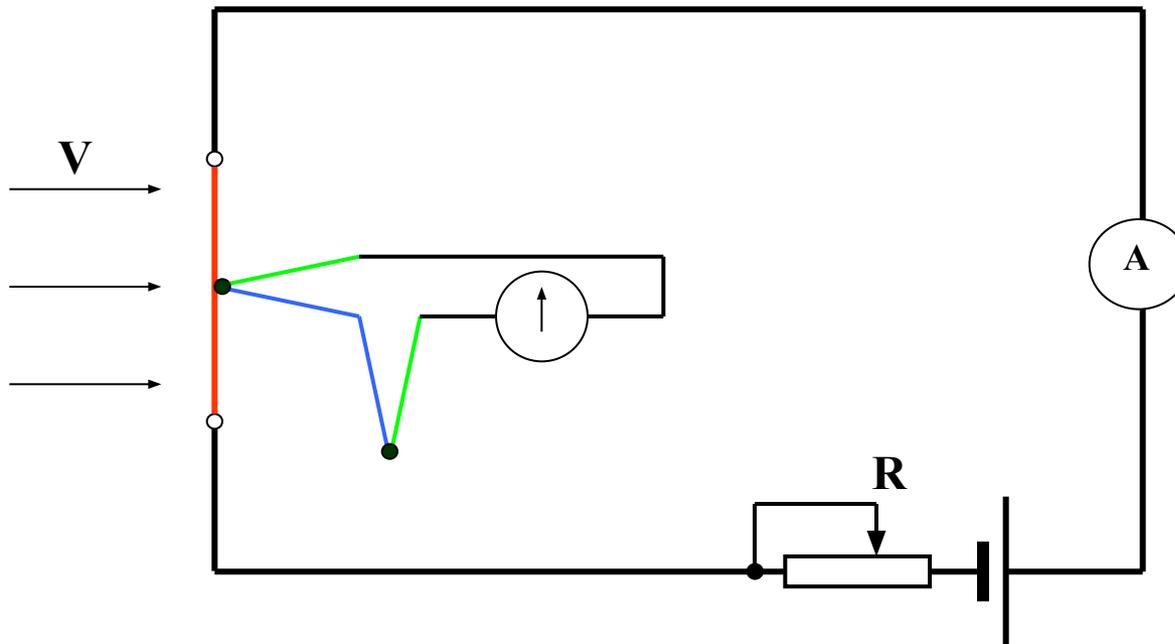


Рис. 3.1. Электрическая схема теплового анемометра.

**Ток, текущий по термопаре, зависит от скорости ветра. Его измеряют стрелочным или цифровым прибором.**

**Чем больше скорость ветра, тем меньше разность температур, тем меньше ток.**

## Лекция 3. Измерение скорости ветра

---

Чтобы найти эту зависимость, рассмотрим процесс теплоотдачи с проволоки. Он характеризуется **числом Нуссельта**:

$$Nu = \frac{\alpha d}{\lambda}$$

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи,

$d$  – диаметр проволоки,

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности воздуха.

Процесс обдува проволоки характеризуется **числом Рейнольдса**:

$$Re = \frac{\rho V d}{\mu}$$

$\rho$  – плотность воздуха,

$V$  – скорость ветра,

$\mu$  – коэффициент динамической вязкости воздуха.

## Лекция 3. Измерение скорости ветра

---

Если проволока перпендикулярна потоку ветра, то между числом Рейнольдса и числом Нуссельта существует связь:

$$Nu = a \cdot Re^b$$

$$a \approx 0,81$$

$$b \approx 0,4$$

**Тогда:**

$$\frac{\alpha d}{\lambda} = a \cdot \left(\frac{\rho d}{\mu}\right)^b \cdot V^b$$

**Выразим отсюда коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  :**

$$\alpha = a \lambda \cdot \left(\frac{\rho}{\mu}\right)^b d^{b-1} \cdot V^b$$

## Лекция 3. Измерение скорости ветра

---

$$\alpha = a\lambda \cdot \left(\frac{\rho}{\mu}\right)^b d^{b-1} \cdot V^b$$

**Количество тепла, отдаваемое единицей длины проволоки в воздух:**

$$Q = \pi d \alpha (T - \theta)$$

$T$  – температура проволоки,

$\theta$  – температура воздуха.

**Количество тепла, отдаваемое проволокой длины  $l$  :**

$$Q = \pi d l \alpha (T - \theta)$$

**Количество тепла, выделяемое при прохождении тока по проволоке:**

$$Q' = J^2 r$$

$J$  – ток, текущий по проволоке,

$r$  – сопротивление проволоки.

## Лекция 3. Измерение скорости ветра

---

Если  $T = const$ , то  $Q' = Q$  :

$$\alpha = a\lambda \cdot \left(\frac{\rho}{\mu}\right)^b d^{b-1} \cdot V^b$$

$$J^2 r \equiv \pi d l \alpha (T - \theta)$$

Подставим сюда формулу для  $\alpha$  :

$$J^2 r = \pi d l (T - \theta) a \lambda \left(\frac{\rho}{\mu}\right)^b d^{b-1} V^b$$

Отсюда выразим разность температур:

$$T - \theta = \frac{J^2 r}{\pi a \lambda l \left(\frac{\rho d}{\mu}\right)^b V^b}$$

## Лекция 3. Измерение скорости ветра

---

$$T - \theta = \frac{J^2 r}{\pi a \lambda l \left( \frac{\rho d}{\mu} \right)^b V^b}$$

**А ток, текущий по термопаре:**

$$i = \frac{e(T - \theta)}{R}$$

**$e$  – удельная термоЭДС термопары,**

**$R$  – сумма сопротивлений измерительного прибора и термопары.**

**Тогда:**

$$i = \frac{J^2 r e}{R \pi a \lambda l \left( \frac{\rho d}{\mu} \right)^b V^b}$$

## Лекция 3. Измерение скорости ветра

$$i = \frac{J^2 r e}{R \pi a \lambda l \left( \frac{\rho d}{\mu} \right)^b V^b}$$

Тогда чувствительность метода:

$$S = \frac{di}{dV} = - \frac{b J^2 r e \mu^b}{R \pi a \lambda l (\rho d)^b V^{b+1}}$$

$$S = - \frac{b J^2 r e \mu^b}{R \pi a \lambda l (\rho d)^b V^{b+1}}$$

Для увеличения чувствительности необходимо:

1. Увеличивать ток нагрева проволоки  $J$  .
2. Увеличивать сопротивление проволоки  $r$  .
3. Уменьшать сечение проволоки  $d$  .
4. Уменьшать длину проволоки  $l$  .

## Лекция 3. Измерение скорости ветра

$$S = - \frac{bJ^2 r e \mu^b}{R \pi a \lambda l (\rho d)^b V^{b+1}}$$

Чувствительность падает при увеличении скорости ветра  $V$ .

### Преимущества теплового анемометра

1. Малая инерция.
2. Отсутствие вращающегося винта.

### Недостатки теплового анемометра

1. Неудобства, связанные с необходимостью креплением спая термопары на проволоке.
2. Изменение тока по проволоке в результате зависимости ее сопротивления от температуры. Необходима регулировка тока во время измерения и его контроль.

## Лекция 3. Измерение скорости ветра

### Анемометры сопротивления.

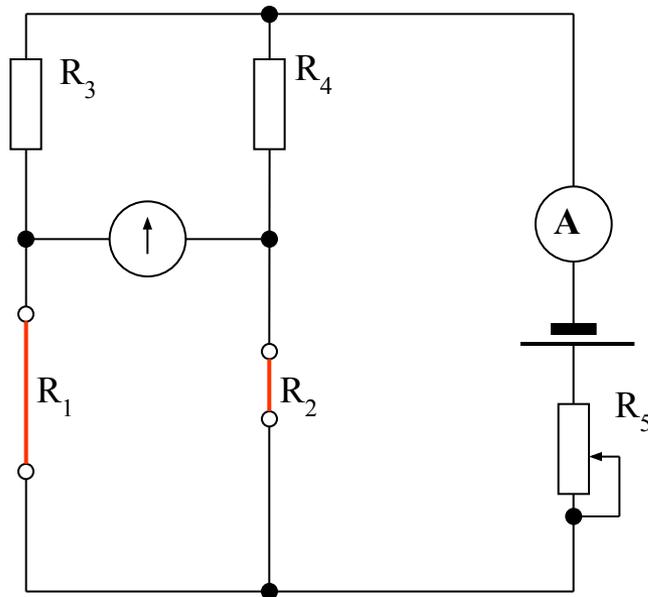


Рис. 3.1. Электрическая схема анемометра сопротивления.

**Две тонкие металлические нити имеют разную длину. Они включены в мостовую схему.**

**Нити охлаждаются ветровым потоком. Их сопротивление изменяется. Мостовая схема выходит из равновесия.**

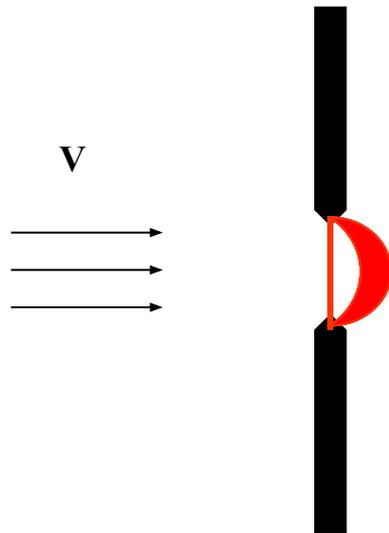
**Ток в измерительной диагонали является мерой скорости ветра. Он измеряется стрелочным или цифровым прибором.**

## Лекция 3. Измерение скорости ветра

---

### Искровые высокочастотные анемометры.

**Искровые высокочастотные анемометры основаны на свойстве искривления ветром электрической искры между электродами.**



**При удлинении искры изменяется электрическое сопротивление искрового промежутка, а следовательно, и ток пробоя.**

**Если ветер достаточно силен, изгиб становится сильным и искра срывается. Затем она снова возникает по кратчайшему расстоянию. Далее цикл повторяется. Частота циклов может служить мерой скорости ветра.**

## **Лекция 3. Измерение скорости ветра**

---

**Таким образом, в искровых анемометрах выходными могут быть следующие параметры:**

- 1. Ток в контуре, содержащем искровой промежуток.**
- 2. Частота циклов возникновения и срыва искры.**