

# Физические основы измерения термодинамических параметров атмосферы

**Тема лекции: Методы измерения влажности воздуха**

**Цель лекции: изучить методы измерения влажности воздуха, а также конструкцию гигрометров и психрометров.**

Вопросы лекции:

1. Обзор существующих методов измерения влажности воздуха. Психрометрический метод.
2. Гигрометрический метод.
3. Метод точки росы.
4. Другие методы измерения влажности воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гончаров И.В., Коковин Н.С.* Методы и средства гидрометеорологических измерений. Конспект лекций. — СПб.: ВКА имени А.Ф.Можайского, 2016.
2. *Качурин Л.Г.* Методы метеорологических измерений: учебник. — Л.: ГМИ, 1985.

# Физические основы измерения термодинамических параметров атмосферы

## 1. Обзор существующих методов измерения влажности воздуха.

### Психрометрический метод.

Под влажностью воздуха понимают содержание в нем водяного пара.

Содержание водяного пара в воздухе может оцениваться многими величинами:

- абсолютной и относительной влажностью,
- упругостью водяного пара,
- точкой росы,
- дефицитом влажности и т.д.

В практике гидрометеорологических измерений чаще всего определяют:

1) *парциальное давление водяного пара  $e$  (упругость водяного пара);*

2) *относительную влажность воздуха*  $f = (e/E) \cdot 100\%$

где  $E$  – плотность насыщенного водяного пара при данной температуре;

3) *температуру точки росы  $t_d$ ;*

4) *дефицит влажности  $d$ ;*

5) *удельную влажность  $S = 0,622 e/P$*

где  $P$  – давление.

# Физические основы измерения термодинамических параметров атмосферы

## Классификация инструментальных методов измерения влажности воздуха



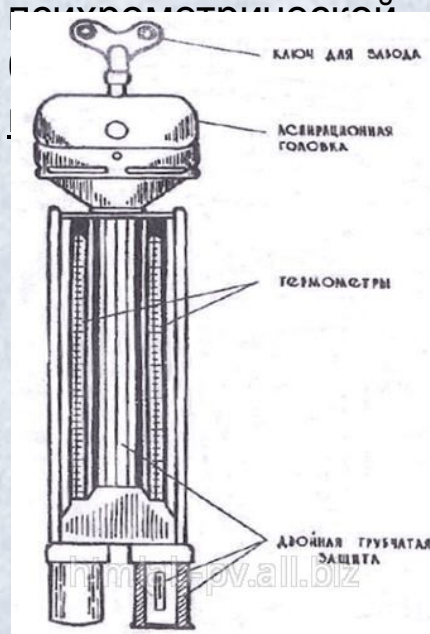
# Физические основы измерения термодинамических параметров атмосферы

## Психрометрический метод

Психрометрический метод широко применяется при измерении влажности воздуха и в метеорологии является основным. Он основан на зависимости интенсивности испарения с водной поверхности от дефицита влажности соприкасающегося с ней воздуха.

В настоящее время в гидрометеорологических подразделениях используются два типа психрометров: станционный и аспирационный.

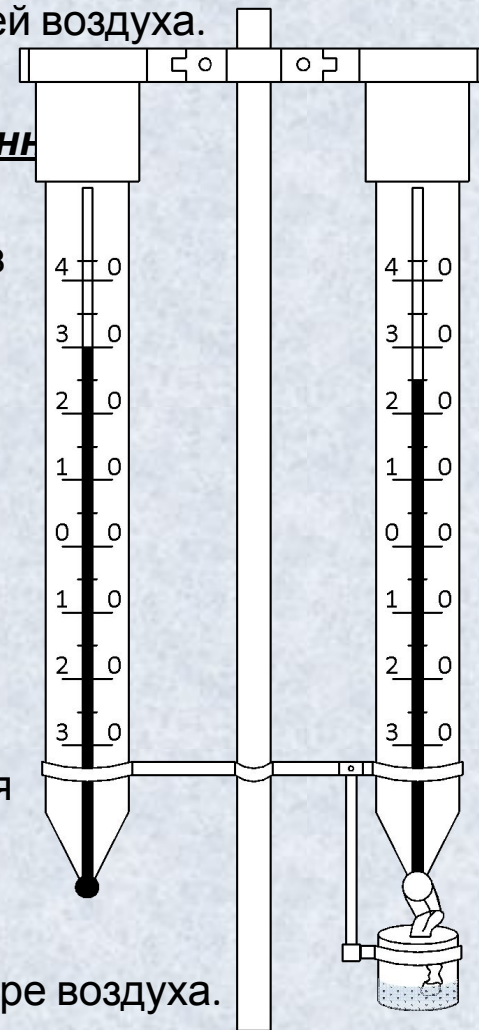
**Станционный психрометр** используют в случае стационарного размещения гидрометеорологических подразделений. Он состоит из двух срочных термометров, один из которых является смоченным, психрометрической стойки, батиста и стаканчика с водой, размещаемых в



ия характеристик влажности воздуха здесь тятся психрометрическими таблицами.

**Аспирационным психрометром** пользуются преимущественно в полевых условиях. Он является самым точным прибором для определения термогигрометрических характеристик при положительной температуре воздуха.

Однако достоверные результаты с его помощью получают только при строгом соблюдении правил измерений.

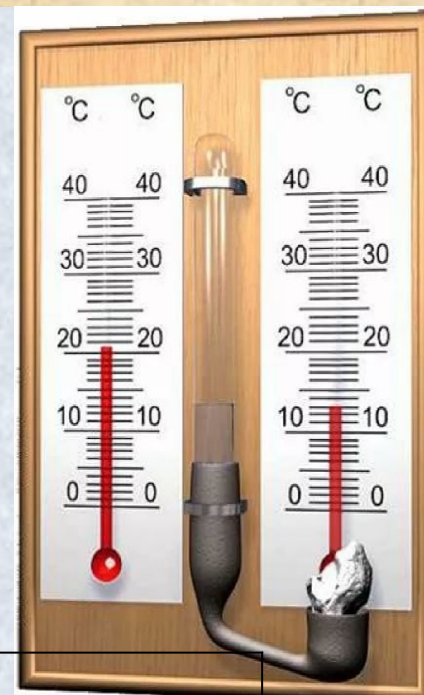


# Физические основы измерения термодинамических параметров атмосферы

## Сущность психрометрического метода.

В состав простого психрометра входит два ртутных или спиртовых термометра. "Мокрый" измеритель с одной стороны обернут влажной тканью, конец лоскута которой опущен в емкость с жидкостью.

Работа любого психрометра основана на физическом свойстве воды испаряться. В процессе испарения из жидкости уходят самые "быстрые" молекулы, в результате чего также теряется определенное количество энергии, и температура воды снижается. Именно эту температуру и замеряет "влажный" термометр. Чтобы узнать влажность воздуха психрометром, нужно зафиксировать показания двух термометров и по психрометрической таблице



высчитать относительную влажность воздуха по показаниям сухого и влажного термометров, °C

Показания сухого термометра, °C	Относительная влажность, %										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	-
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14	6
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	31

# Физические основы измерения термодинамических параметров атмосферы

Абсолютная влажность определяется по *психометрической формуле*:

$$e = E - AP(t - t')$$

где: **e** - упругость пара, который находится в воздухе;

**E** - показатель максимально возможной упругости пара,

при температуре, которую показывает "влажный" термометр;

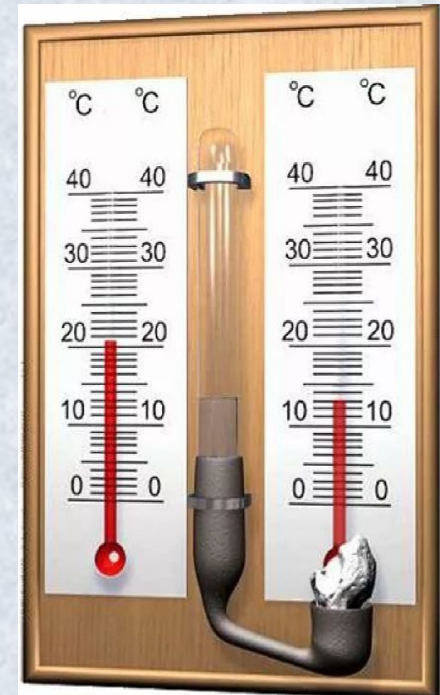
**A** – коэффициент, называемый психрометрическая постоянная.

Его величина зависит от устройства термометра, а также скорости прохождения воздушного потока возле резервуара термометра;

**P** —давление воздуха;

**t** —температура воздуха, определенная обычным термометром;

**t'** —температура воздуха, определенная "влажным" термометром.



**Погрешности** при производстве измерений с помощью этого метода определяются особенностями его применения, поэтому необходимо соблюдать следующие правила:

- 1) применение в психрометрической паре термометров одной марки;
- 2) однообразии приемов повязывания батиста и его смачивания;
- 3) защита резервуаров термометров от прямого солнечного излучения;
- 4) стабильность скорости аспирации.

Динамическая погрешность обуславливается **постоянной времени психрометра**. Она определяет реакцию прибора на изменение относительной влажности, которая зависит от тепловой инерции термометров и от скорости испарения.

# Физические основы измерения термодинамических параметров атмосферы

## 2. Гигрометрический метод.

При производстве гидрометеорологических измерений широко применяются гигрометры. Они используются при определении влажности воздуха в условиях низких температур (ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ ).

В качестве датчиков деформационных гигрометров используют *обезжиренные человеческие волосы* (**волосные гигрометры**), а также *пленочные преобразователи на основе обработанной по особой технологии животной пленки* (**пленочные гигрометры**). В некоторых приборах применяются их синтетические аналоги (мембраны, нити).

### **Принцип работы волосяного гигрометра:**

Общим свойством для чувствительных материалов является наличие микроскопических пор, которые во влажном воздухе заполняются водой. Поры деформируются вслед за изменением влажности окружающего воздуха: они расширяются, если влажность повышается, и, наоборот, стягиваются при понижении влажности. Соответственно меняются линейные размеры чувствительного элемента.

При понижении температуры уменьшается чувствительность волоса, поэтому предельная температура при использовании волосного преобразователя составляет  $-30^{\circ}\text{C}$ .

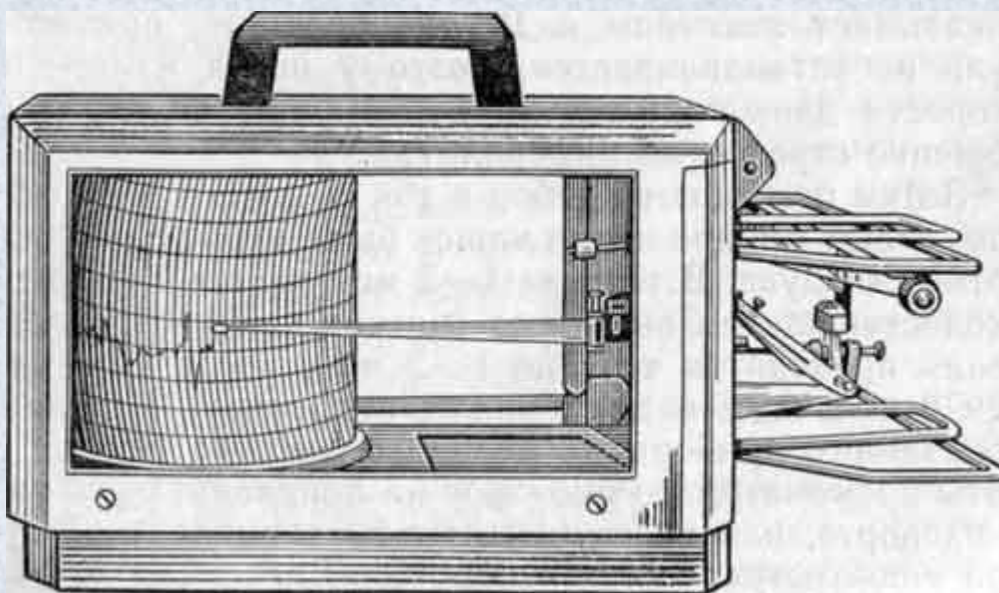
Волосной гигрометр является относительным прибором, но в зимнее время он служит основным инструментом для определения влажности воздуха. Чтобы получить действительную относительную влажность, необходимо в показания гигрометра ввести поправки, которые находят путем сравнения показаний гигрометра с показаниями психрометра в течение 1-1,5 месяцев до наступления устойчивых морозов.

# Физические основы измерения термодинамических параметров атмосферы

## Гигрометры с пленочными преобразователями.

Чувствительным элементом пленочных преобразователей является животная пленка, натянутая на металлическое кольцо.

Принцип действия таких преобразователей подобен действию волосных чувствительных элементов. Удлинение пленки практически не зависит от колебаний температуры при ее положительных значениях, достигая 45-50 % при изменении влажности от 0 до 100 %. Такие преобразователи в 2-3 раза чувствительнее волосных, однако основным их недостатком также является быстрое увеличение погрешностей и коэффициента инерции при уменьшении температуры.



Волосной гигрограф.



Волосной гигрометр

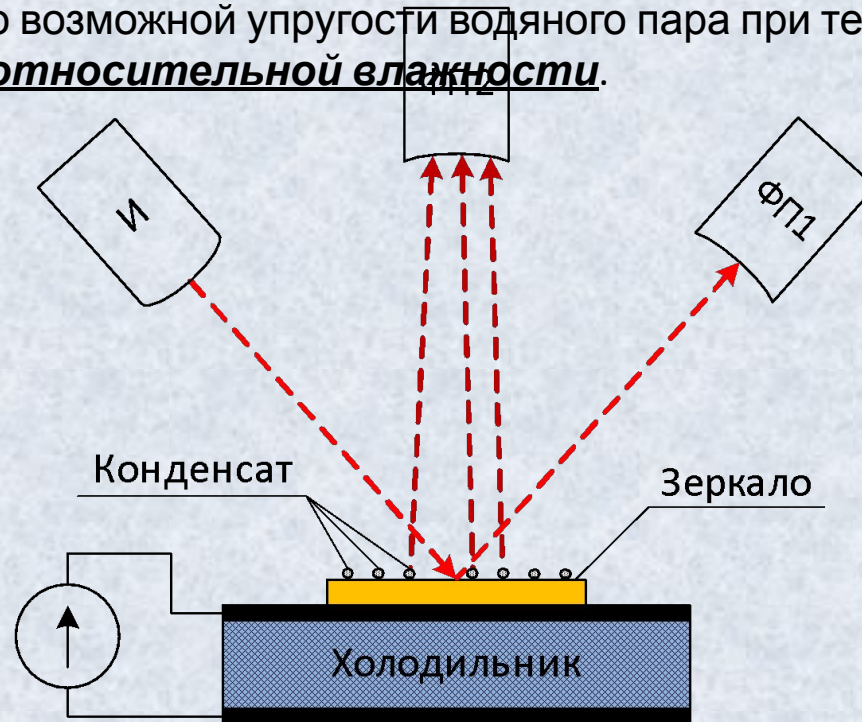


# Физические основы измерения термодинамических параметров атмосферы

## 3. Метод точки росы:

*Данный метод основан на определении температуры поверхности воды, соответствующей состоянию равновесия между водой и паром, находящимся в воздухе.*

При охлаждении некоторой массы атмосферного воздуха при неизменном давлении  $P = const$  давление водяного пара  $e$  остается неизменным, однако относительная влажность при этом растет вплоть до наступления насыщения. При насыщении начинается конденсация водяного пара, упругость его будет равняться максимально возможной при данной температуре (то есть при температуре точки росы). Таким образом, зная точку росы и текущую температуру, можно по психрометрическим таблицам найти значения максимально возможной упругости водяного пара при температуре точки росы, а, следовательно, — и относительной влажности.



# Физические основы измерения термодинамических параметров атмосферы

## 4. Другие методы измерения влажности воздуха

Главный недостаток рассмотренных выше основных методов измерения влажности воздуха и соответствующих им приборов связан с резким уменьшением их чувствительности при понижении температуры.

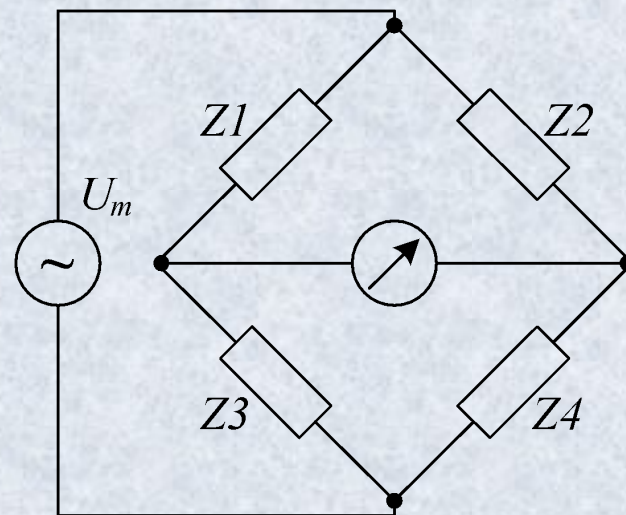
Указанного недостатка в большей степени лишены электрохимические методы и соответствующие им приборы, а так же конденсаторные гигрометры.

Действие электрохимических датчиков основано на гигроскопических свойствах некоторых веществ. При этом пользуются каким-либо электрическим параметром гигроскопического вещества (сопротивлением, диэлектрической проницаемостью), максимально связанным с содержанием в нем воды.

По принципу действия **электрохимические гигрометры** можно разделить на два типа:

- **Электролитические** датчики влажности.
- **Сорбционные** датчики влажности.

Для измерения сопротивления пленки применяется мостовая схема, в одно из плеч которой включается электрический датчик. Питание моста осуществляется переменным током для исключения поляризации электролита.



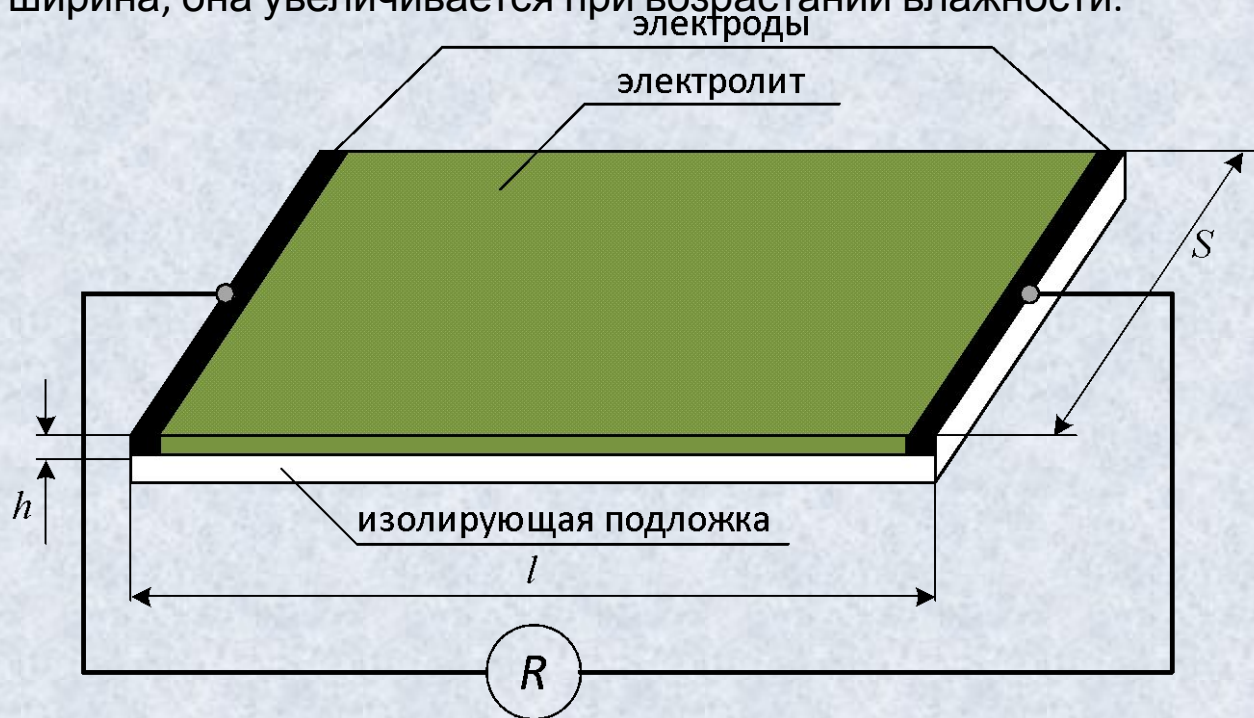
# Физические основы измерения термодинамических параметров атмосферы

## Электролитические датчики влажности

Электролитический датчик гигрометра содержит раствор гигроскопического вещества — электролита, концентрация которого является функцией влажности. От концентрации электролита, в свою очередь, зависит диэлектрическая проницаемость датчика, а следовательно, и электропроводность (сопротивление).

Чувствительным элементом таких гигрометров является пластинка или трубка из изоляционного материала, покрытая тонким слоем электролита (например,  $LiCl$ ). На этой же пластинке размещаются электроды, между которыми измеряется сопротивление электролита.

Чувствительность такого датчика тем больше, чем больше длина пленки, и чем меньше ее толщина и ширина; она увеличивается при возрастании влажности.

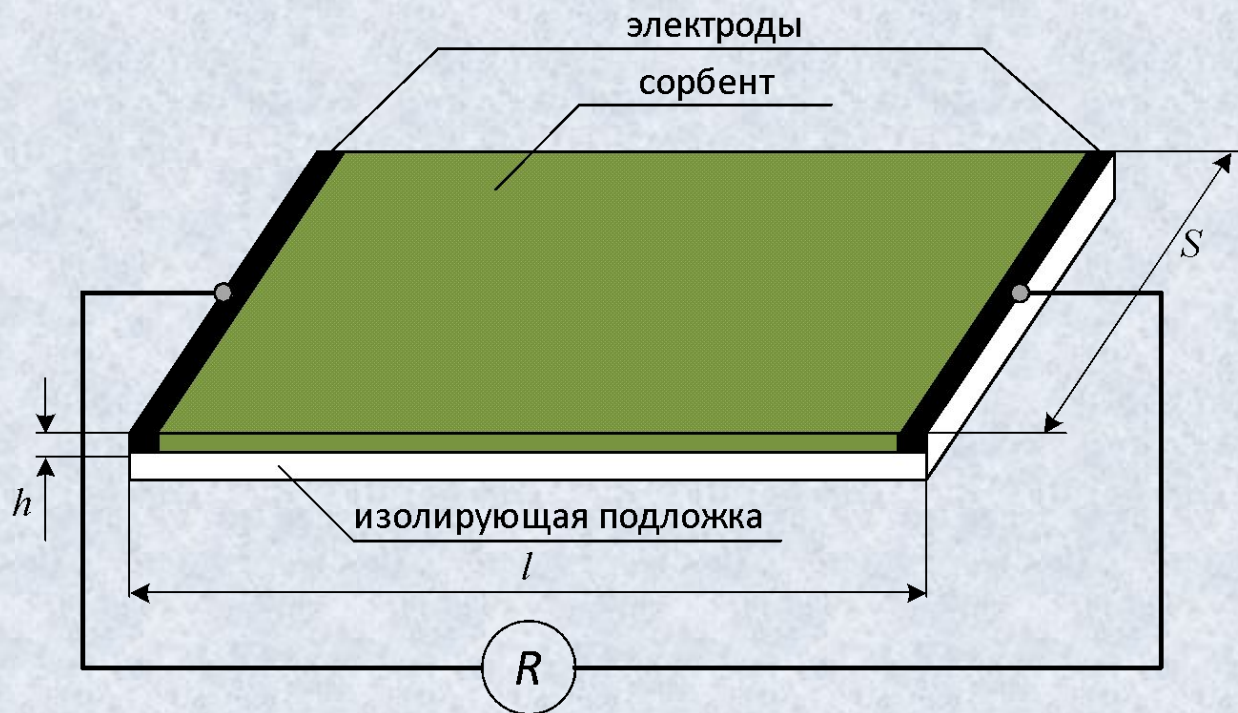


# Физические основы измерения термодинамических параметров атмосферы

## Сорбционные датчики влажности

В гигрометрах сорбционного типа сорбент наносится на подложку из изоляционного материала в твердом виде. Во влажном воздухе сорбент (обычно оксид алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) поглощает воду до достижения гигроскопического равновесия. При этом сопротивление уменьшается, причем тем больше, чем выше влажность.

Основным недостатком оксидно-алюминиевых преобразователей является уменьшение чувствительности со временем, вызванное старением активного слоя.



# Физические основы измерения термодинамических параметров атмосферы

## Конденсаторные гигрометры.

В конденсаторных гигрометрах датчиком влажности является конденсатор. Они бывают двух типов:

- с воздушным диэлектриком;
- с твердым диэлектриком.

В гигрометре с воздушным диэлектриком датчиком служит конденсатор, между электродами которого свободно движется исследуемый воздух. Изменение диэлектрической проницаемости воздуха вследствие его влажности обуславливает пропорциональное изменение емкости конденсатора, что фиксируется электроизмерительной схемой. Подобный датчик влажности использован в термогигрометре цифровом ТГЦ-1.

В настоящее время широко применяются гигрометры, в которых между пластинами конденсатора находится пористый диэлектрик (анодированный алюминий). Они используются в качестве датчиков влажности в современных радиозондах. Конденсатор с таким диэлектриком вслед за изменением влажности воздуха меняет свое реактивное сопротивление. В качестве гигрометрического свойства обычно используют зависимость емкости от влажности.

Формула для емкости конденсатора:

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$$

где  $S$  – площадь обкладок,

$d$  – расстояние между обкладками,

$\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость диэлектрика между обкладками (зависит от влажности),

