

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ»

Кафедра основ безопасности систем и процессов

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ
ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА
С ПОМОЩЬЮ ПСИХРОМЕТРА АССМАНА

Методические указания
по выполнению лабораторно-расчетной работы
для студентов всех направлений и всех форм обучения

Санкт - Петербург
2013

УДК 331.45

Методика измерения относительной влажности воздуха с помощью психрометра Ассмана: методические указания по выполнению лабораторно-расчетной работы для студентов всех направлений и всех форм обучения/сост.: Ю.А. Василевский, С.В. Анискин, И.О. Протодияконов, И.Е. Слепцов,

О.И. Протодияконова; СПб ГТУРП.- СПб., 2013-11 с.

Методические указания содержат сведения о психрометре Ассмана, теории «мокрого» термометра и методике измерения температуры стеклянным ртутным термометром, используемые при определении относительной влажности воздуха.

Предназначены для студентов всех специальностей и форм обучения.

Рецензент: доцент СПбГТУРП, канд. техн. наук В.И.Сарже

Подготовлены и рекомендованы к печати кафедрой основ безопасности систем и процессов СПб ГТУРП (протокол № 6 от 28.03.2013г.)

Утверждены к изданию методической комиссией инженерно-экологического факультета СПб ГТУРП (протокол № 6 от 01.04.2013 г.).

© Санкт-Петербургский государственный
технологический университет
растительных полимеров, 2013

Содержание

1.	Теоретические основы измерения влажности воздуха «мокрым» термометром.....	4
2.	Измерение влажности воздуха с помощью психрометра Ассмана ...	6
3.	Порядок выполнения работы.....	9
4.	Измерение температуры стеклянными ртутными термометрами...	11
	Библиографический список....	12

1. Теоретические основы измерения влажности воздуха «мокрым» термометром

Температура, которая устанавливается на «мокром» термометре, является следствием одновременного протекания тепло- и массообмена. Возникают три тепловых потока. Первый поток (Q_1) является следствием испарения воды. Вода испаряется в том случае, если парциальное давление паров воды над поверхностью жидкой (P_S) больше парциального давления паров воды в объеме воздуха (P_V). Такой процесс называется диффузией. При испарении происходит перенос тепла от воды к воздуху. Количество тепла определяется теплотой фазового перехода (L). Количество тепла, необходимое на фазовый переход, отдает жидкость, поэтому ее *поверхность охлаждается*.

$$\frac{Q_1}{S} = h \cdot L \cdot (P_S - P_V) \quad (1)$$

Охлаждение поверхности воды относительно воздуха вызывает обратный тепловой поток (Q_2). Около поверхности капли возникает тепловой пограничный слой в газовой фазе, где температура изменяется от температуры воздуха (T_B) до температуры поверхности воды (T_S). Под действием градиента температуры поверхность воды нагревается.

$$\frac{Q_2}{S} = k \cdot C_p \cdot (T_B - T_S) \quad (2)$$

Охлаждение поверхности приводит к возникновению третьего теплового потока (Q_3), который переносит тепло между объёмом воды и её поверхностью. Тепловой поток Q_3 можно ограничить, если уменьшить объём воды, например, используя тонкую водяную плёнку. В этом случае водяная плёнка может нагреться или охладиться до температуры поверхности за достаточно малое

время. Если рассматривать процесс за достаточно большое время, то тепловым потоком Q_3 можно пренебречь.

Рассмотрим взаимосвязь между тепловыми потоками Q_1 и Q_2 . Чем интенсивнее испарение, тем больше градиент температуры и интенсивнее нагрев. Такая взаимосвязь приводит к тому, что со временем тепловые потоки выравниваются, и можно записать уравнение, отражающее их равенство:

$$Q_1 = Q_2 \quad (3)$$

Учитывая формулы (1) и (2), преобразуем уравнение (3):

$$h \cdot L \cdot (P_s - P_v) = k \cdot C_p \cdot (T_b - T_s) \quad (4)$$

Полученное равенство при известных значениях T_b и T_s , а также h , k , L , C_p позволяют определить парциальное давление паров воды в воздухе. Следует заметить, что парциальное давление насыщенных паров (P_s) становится известным, если известна температура T_s , они однозначно связаны эмпирическим уравнением Антуана.

Особенность данного процесса заключается в том, что для воды выравнивание тепловых потоков в газовой фазе происходит очень быстро - за доли секунды, далее происходит квазистационарный процесс теплообмена в газовой фазе. Он значительно быстрее, чем выравнивание температуры в плёнке воды.

Другим важным фактором является большое значение теплоты парообразования для воды. Даже незначительный градиент диффузии достаточен для выравнивания тепловых потоков. Значения P_s и P_v мало отличаются, что позволяет считать их приблизительно равными.

$$P_s = P_v \quad (5)$$

Равенство (5) позволяет упростить вычисление относительной влажности по следующей формуле:

$$W = \frac{P_s}{P_{\text{ат}}} \cdot 100, \quad (6)$$

где $P_{\text{вн}}$ - парциальное давление насыщенных паров воды при измеренной температуре воздуха.

2. Измерение влажности воздуха с помощью психрометра Ассмана

Конструкция психрометра Ассмана включает два воздушных канала, внутрь которых вставлены резервуары с ртутью двух стеклянных термометров. С помощью вентилятора в каналах создается воздушный поток, который обдувает резервуары с ртутью, обеспечивая скорость не менее 2 м/с. Левый термометр называется «сухой», потому что его не смачивают. Он предназначен для измерения влажного воздуха в рабочем помещении.

Правый термометр называется «мокрый», потому что его смачивают водой. На поверхности его ртутного резервуара закреплен тонкий батистовый чехол, позволяющий удерживать плёнку воды. «Мокрый» термометр измеряет температуру плёнки воды, но предназначен для измерения температуры поверхности раздела водяной плёнки и воздушного потока.

При измерении температуры поверхности раздела необходимо время для прогрева плёнки и самого резервуара до температуры поверхности плёнки. Время прогрева заранее не известно. Известно только одно условие. При выравнивании тепловых потоков температура «мокрого» термометра при наличии водяной плёнки должна быть постоянной. При измерении следует также учитывать, что со временем пленка высыхает, и температура мокрого термометра поднимается до температуры «сухого» термометру. Характерный график изменения температуры во времени представлен на рис. 1.

Температура поверхности плёнки определяется на участке τ_2 (рис. 1).

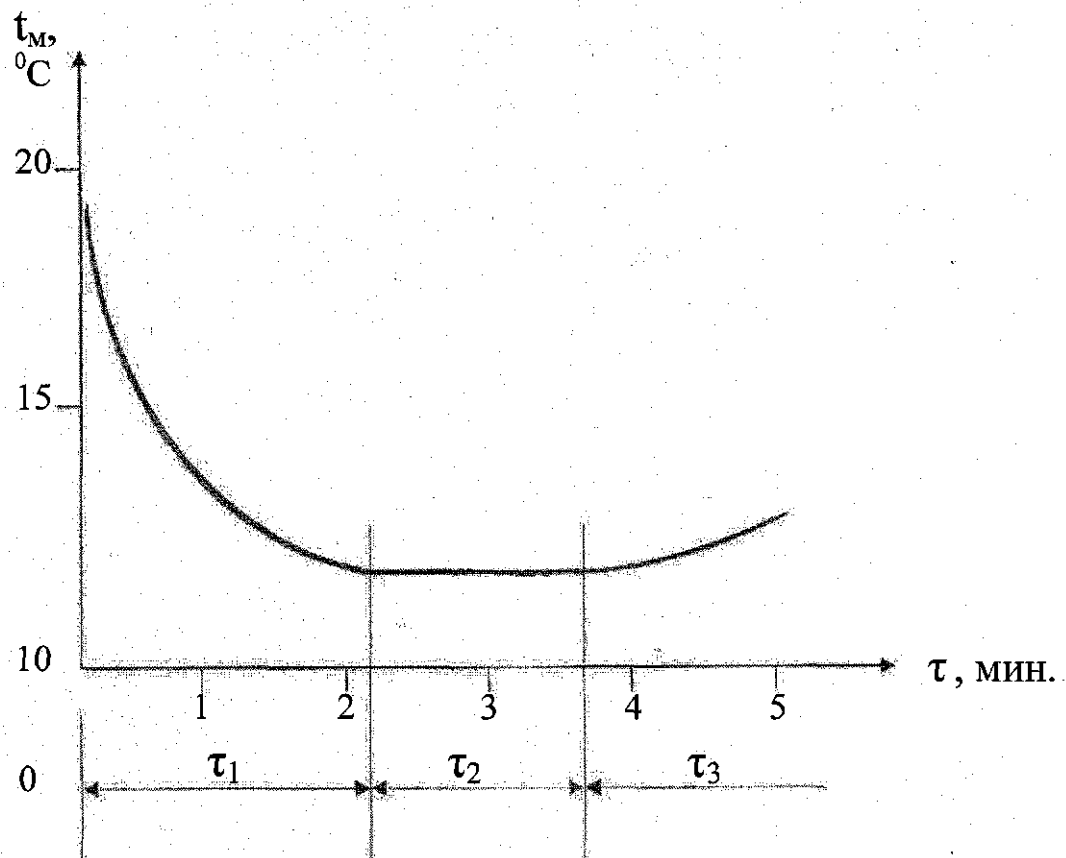


Рис. 1. Характерный график изменения температуры во времени:

τ_1 —участок прогрева пленки; τ_2 —участок постоянной температуры;

τ_3 —участок высыхания пленки.

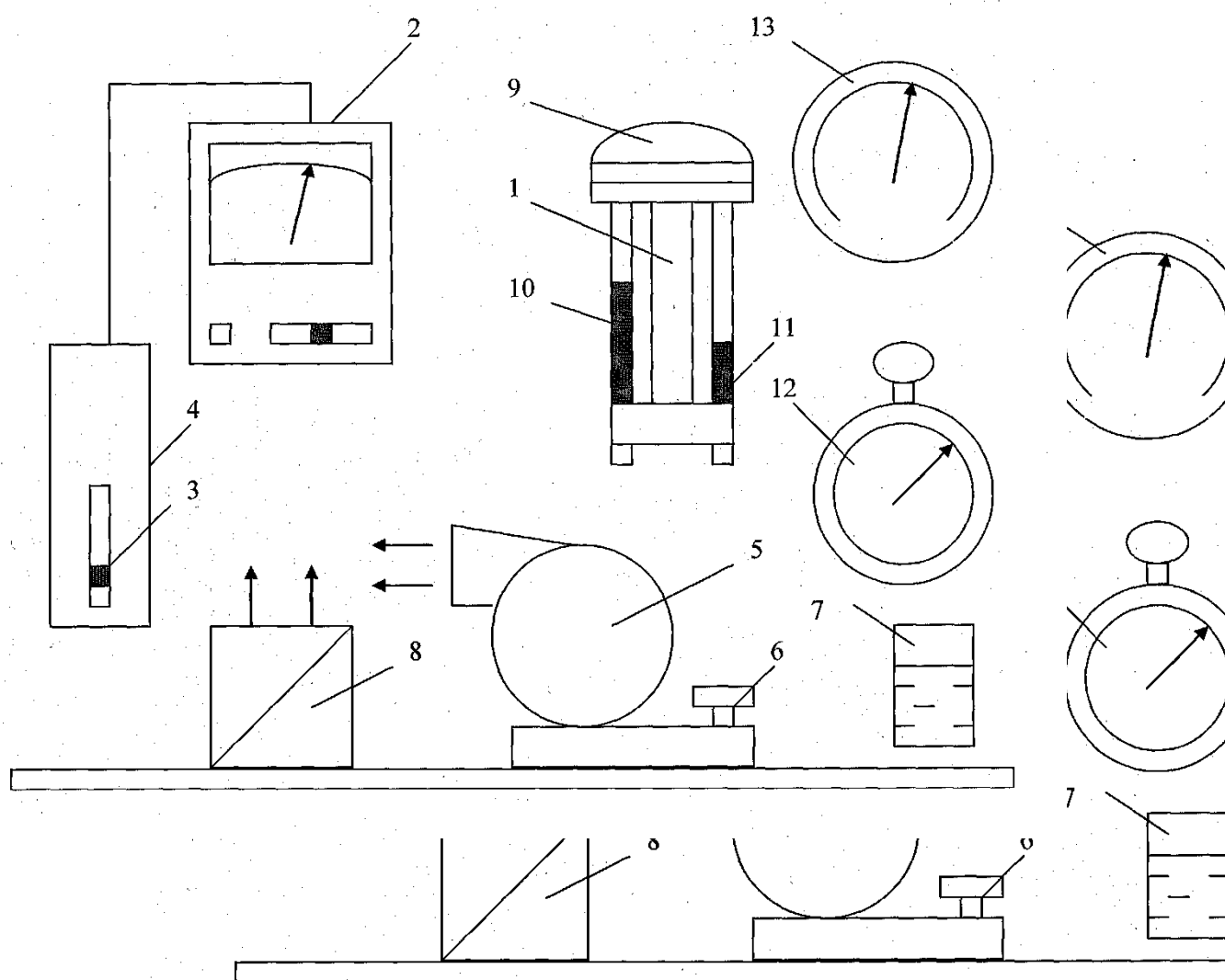


Рис. 2. Схема лабораторного стенда

1 - психрометр Ассмана; 2 - показывающий прибор термоанемометра;
3 - датчик термоанемометра; 4 - защитный кожух; 5 - вентилятор;
6 - поворотное устройство; 7 - стакан с дистиллированной водой;
8 - тепловентилятор; 9 – вентилятор психрометра; 10 - сухой термометр;
11- мокрый термометр; 12 - секундомер; 13 - барометр.

3. Порядок выполнения работы

1. Включить термоанемометр (2).
2. Включить подсветку шкалы термометров (12), психрометра Ассмана (1) и определить цену деления шкалы.
3. Включить вентилятор психрометра Ассмана (9).
4. Включить вентилятор (5) и установить поворотным устройством (6) заданный угол поворота.
5. Включить тепловентилятор (8) и установить режим подогрева воздуха.
6. Измерить температуру сухого (10) и мокрого (11) термометров.
7. Измерить подвижность воздуха термоанемометром (2).
8. Включить секундомер (12).
9. Смочить дистиллированной водой из стакана (7) мокрый термометр, расположенный справа.

10. Провести измерения температуры по шкале мокрого термометра через каждые 15 секунд в течение 4 минут (16 раз).
11. Измерить атмосферное давление барометром (13) в мм.рт.ст.
12. Определить цену деления шкалы барометра ($\Delta P_{\text{атм}}$) и шкалы термоанемометра (ΔU) в области измеренных значений.
13. Если в группе больше одного студента, то измерения начинает делать следующий студент по пунктам (2-12); если все выполнили измерения, то необходимо выключить электрические приборы стенда.
14. Определить нормативные значения оценочных параметров U_{σ} , W_{σ} , $t_{\sigma 1}$, $t_{\sigma 2}$.
15. Построить график зависимости t_m (τ) температуры мокрого термометра от времени.
16. Определить по графику t_s температуру поверхности водяной пленки.
17. Определить по номограмме значение эффективной эквивалентной температуры $t_{\text{эт}}$

4. Измерение температуры стеклянными ртутными термометрами

Измерение температуры стеклянными ртутными термометрами (далее по тексту подраздела - термометрами) основано на том, что при изменении температуры среды, в которую погружен термометр, изменяется (увеличивается или уменьшается) и температура ртути, находящейся в термометре, и изменяется (увеличивается или уменьшается соответственно) её объём.

Поднятие столбика ртути в капилляре (Δh , мм) при повышении температуры от t_1 до t_2 можно рассчитать по формуле:

$$\Delta h = 1,275 \cdot \frac{V \cdot (t_2 - t_1) \cdot \alpha}{d^2} \quad (7)$$

где V - объём ртути, мм³;

α - коэффициент видимого расширения ртути в стекле ($0,00016 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$);

d - диаметр капилляра, мм.

Термометры выпускают калиброванными на полное погружение или на частичное погружение. При измерениях температуры термометром полного погружения он должен быть целиком погружён в испытываемую среду. Термометры частичного погружения опускают в испытываемую среду лишь до определённого предела, указанного на термометре. Термометры частичного погружения, как правило, выпускаются для использования в определённых приборах, например, термометр ТН-2М с глубиной погружения 45 мм используется для определения температуры вспышки в открытом тигле (прибор Бренкена).

Если термометр полного погружения используется в условиях частичного погружения, например, резервуар термометра с ртутью находится в тигле с горячей жидкостью, а большая часть капилляра находится в воздухе, то необходимо ввести поправку на выступающий столбик ртути по формуле (ГОСТ 28498-90):

$$\Delta t_{\theta} = \alpha \cdot n \cdot (t_3 - t_4), \quad (8)$$

где n - число градусов в выступающем столбике ртути, °С;

t_3 - температура, показываемая термометром, °С;

t_4 - температура окружающей среды на половине высоты выступающего столбика ртути, °С.

Измеряемая температура определяется по формуле:

$$t = t_3 + \Delta t_{\theta} \quad (9)$$

Библиографический список

1. Шервуд Т., Пигфорд Р., Уилки Ч. Массопередача. -М., «Химия», 1982,- 696 с.
2. Исаченко В.П. Теплообмен при конденсации.- М., «Энергия». ,1977,- 200 с.
3. ГОСТ 2.84.98-90.

Юрий Анатольевич Василевский

Сергей Васильевич Анискин

Игорь Орестович Протодьяконов

Игорь Евгеньевич Слепцов

Ольга Игоревна Протодьяконова

