

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**БРАТСКИЙ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫЙ КОЛЛЕДЖ**  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

*для выполнения практических работ*

*по МДК 01.01 «Эксплуатация, расчет и выбор теплотехнического  
оборудования и систем тепло- и топливоснабжения»*

***раздел: «Измерительная техника»***

для студентов специальности  
13.02.02 Теплоснабжение и теплотехническое оборудование

Братск 2020

Организация разработчик: Братский Целлюлозно-бумажный колледж ФГБОУ ВО «БрГУ»

Разработчик:

Долотова И.В. – преподаватель кафедры энергетических и строительных дисциплин

Рассмотрена на заседании кафедры энергетических и строительных дисциплин от «18» сентября 2020 г. протокол № 1

## Содержание

Введение	4
<b>Практическая работа № 1</b>	
<i>Теоретическое введение</i>	5
<i>Расчетные задания</i>	8
<i>Вопросы для защиты практической работы</i>	11
<b>Практическая работа № 2</b>	
<i>Теоретическое введение</i>	12
<i>Расчетные задания</i>	16
<i>Вопросы для защиты практической работы</i>	23
<b>Практическая работа № 3</b>	
<i>Теоретическое введение</i>	24
<i>Расчетные задания</i>	26
<i>Вопросы для защиты практической работы</i>	29
<b>Практическая работа № 4</b>	
<i>Теоретическое введение</i>	30
<i>Расчетные задания</i>	33
<i>Вопросы для защиты практической работы</i>	35
<b>Практическая работа № 5</b>	
<i>Теоретическое введение</i>	36
<i>Расчетные задания</i>	39
<i>Вопросы для защиты практической работы</i>	47
<b>Практическая работа № 6</b>	
<i>Теоретическое введение</i>	48
<i>Расчетные задания</i>	50
<i>Вопросы для защиты практической</i>	54
<b>Практическая работа № 7</b>	
<i>Теоретическое введение</i>	55
<i>Расчетные задания</i>	57
<i>Вопросы для защиты практической</i>	61
<b>Практическая работа № 8</b>	
<i>Теоретическое введение</i>	62
<i>Расчетные задания</i>	65
<i>Вопросы для защиты практической</i>	65
<b>Практическая работа № 9</b>	
<i>Теоретическое введение</i>	66
<i>Расчетные задания</i>	69
<i>Вопросы для защиты практической</i>	69
<b>Практическая работа № 10</b>	
<i>Теоретическое введение</i>	70
<i>Расчетные задания</i>	74
<i>Вопросы для защиты практической</i>	74
Список использованных источников	75

## Введение

Практикум учебной дисциплины «Измерительная техника» предназначена для реализации федеральных государственных требований к минимуму содержания подготовки выпускников по специальности 13.02.02 Теплоснабжение и теплотехническое оборудование.

Настоящее учебное пособие разработано с целью развития у студентов навыков самостоятельного решения задач и углубления их теоретических знаний. Одноименная дисциплина опирается на предметы, изучаемые студентами-энергетиками на протяжении всего курса обучения по специальности, например: теплотехническое оборудование, водоподготовка и т.д. В данной работе используются выводы и формулы, полученные в изучаемых дисциплинах. Однако здесь исследуются вопросы и задачи изучения основ современных теплотехнических измерений, теории техники измерения температуры, давления, расхода, уровня жидкости, состава газов и жидкостей, уровней жидких и сыпучих тел.

Практикум охватывает два раздела:

1. Общие сведения об измерениях.
2. Измерение теплотехнических параметров.

В результате изучения практикума данной дисциплины студенты должны:

*знать:*

- способы измерения технологических параметров;
- конструктивные особенности, принцип действия и метрологические свойства средств технологических измерений;
- методику поверки и введения поправок к показаниям приборов;
- назначение и область применения измерительных устройств;
- условные обозначения и маркировку средств измерений.

*уметь:*

- проводить выбор необходимых измерительных устройств, пользоваться средствами теплотехнических измерений;
- обрабатывать и анализировать результаты измерений.

## Практическая работа № 1 «Методы измерения температуры»

**Цель работы:** знать шкалы измерений температур, научиться переводить единицы измерения температуры.

### 1. Теоретическое введение

Первой температурной шкалой была, шкала, изобретенная Габриэлем Фаренгейтом в 1724 году. На ней были указаны три опорные точки: температура смеси воды, льда и поваренной соли –  $0^{\circ}\text{F}$ , температура тающего льда –  $32^{\circ}\text{F}$  и температура тела человека –  $96^{\circ}\text{F}$ . Выводится следующим выражением

$$t, ^{\circ}\text{C} = 0,556 \cdot (t, ^{\circ}\text{F} - 32) \quad (1)$$

В 1730 году французский естествоиспытатель Рене Реомюр предложил свою шкалу температур. Опорная точка в этой шкале – температура таяния льда. Температура кипения воды по этой шкале составила  $80^{\circ}\text{R}$ . В нашей стране термометром Реомюра пользовались до 1869 года.

$$t, ^{\circ}\text{C} = 1,25 \cdot t, ^{\circ}\text{R} \quad (2)$$

Шведский ученый астрономии Андре Цельсий в 1742 году предложил свою шкалу. Он остановился на двух опорных точках – температура кипения воды –  $0^{\circ}\text{C}$  и температура таяния льда –  $100^{\circ}\text{C}$ . Вскоре известный ботаник Карл Линней поменял местами опорные точки, и термометр Цельсия приобрел для нас обычный вид.

В термодинамической шкале Кельвина нижней точкой является точка абсолютного нуля –  $0^{\circ}\text{K}$ , а единственной экспериментальной основной точкой – тройная точка воды. Этой точке присвоено числовое значение  $273,16^{\circ}\text{K}$ . *Тройная точка воды* – это точка равновесия воды в твердой, жидкой и газообразной фазах.

$$t, ^{\circ}\text{C} = t, ^{\circ}\text{K} - 273,16 \quad (3)$$

В настоящее время действуют принятые решением Восьмой Генеральной конференции по мерам и весам (1968 год) две температурные шкалы – термодинамическая и международная практическая (МПТШ – 68).

Таблица 1 – Основные реперные точки МПТШ – 68

Состояния равновесия	Температура, °С
Тройная точка водорода	- 259,34
Точка кипения водорода	- 256,108
Тройная точка неона	- 252,87
Точка кипения неона	- 246,048
Тройная точка кислорода	- 218,789
Точка кипения кислорода	- 182,962
Тройная точка воды	0,01
Точка кипения воды	100
Точка затвердевания цинка	419,58
Точка затвердевания серебра	961,93
Точка затвердевания золота	1064,43

## 2. Основные принципы теплотехнических измерений

Измерение физических величин не может быть произведено абсолютно точно вследствие несовершенства методов и средств измерений, а так же из-за влияния условий измерения, индивидуальных особенностей наблюдателя и ряда случайных причин. Возникшие при этом отклонения результатов измерений от истинных значений измеряемой величины называются *погрешностями измерений*.

При каждом измерении должна быть известна степень точности его результата, оцениваемая погрешностью измерения. Только тогда полученное значение той или иной величины имеет практический смысл. Погрешность измерения может быть выражена в виде *абсолютной* или *относительной* величины и бывает *положительной* или *отрицательной*.

**Абсолютная погрешность  $\Delta$** , выражаемая в единицах измерений, представляет собой разность между измеренным значением (показанием прибора)  $\chi$  и действительным значением измеряемой величины  $X_d$ , а **относительная погрешность  $У$** , указываемая в процентах есть отношение абсолютной погрешности к действительному значению, т.е.

$$\Delta = \chi - X_d, \quad (4)$$

$$У = \frac{\Delta}{X_d} \cdot 100 \% \quad (5)$$

**Случайные погрешности** являются заведомо неопределенными по своей величине и природе. При повторных измерениях они не остаются постоянными, т.к. они возникают в итоге совместного

воздействия на процесс измерения многих причин, каждая из которых проявляет себя по-разному и независимо друг от друга. При обработке результатов ряда повторных измерений, содержащих случайные погрешности, находится среднее значение  $X_{cp}$  представляющее собой конечный результат измерения, т.е.

$$X_{cp} = (x_1 + x_2 + x_3 + x_n)/n \quad (6)$$

где  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  – ряд измеряемых значений, условно обозначаемых  $x_i$ ;

$n$  – число измерений.

Для оценки случайной погрешности обычно служит среднее квадратичное отклонение результата измерения  $\sigma$ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_i - x_{cp})^2}{n-1}} \quad (7)$$

**Вероятная погрешность** соответственно находится по формуле:

$$\Delta_v = 0,675 \cdot \sigma \quad (8)$$

Смысл определения этой погрешности состоит в том, что при многократном измерении постоянной величины 50% случайных погрешностей будет меньше вероятной погрешности и 50% — больше ее.

## Расчетные задания

Задание 1. Определить температуру по шкале Кельвина, если известно:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t, ^\circ\text{C}$	- 46	- 157	- 68	- 179	- 81	350	24	13	133	- 384
$t, ^\circ\text{R}$	169	- 23	457	- 36	328	- 46	235	- 11	88	- 67
$t, ^\circ\text{F}$	124	36	148	60	252	- 220	- 20	- 186	- 45	- 93

Задание 2. Определить реперную точку МПТШ – 68, если:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
значение	$335,664 ^\circ\text{R}$	$17,042 ^\circ\text{K}$	$- 422,8 ^\circ\text{F}$	$- 146,3696 ^\circ\text{R}$	$54,361 ^\circ\text{K}$	$- 410,53 ^\circ\text{F}$	$- 207,472 ^\circ\text{R}$	$1337,58 ^\circ\text{K}$	$211,86 ^\circ\text{F}$	$769,544 ^\circ\text{R}$

Задание 3. Индивидуальное

### Подгруппа № 1

**Задача.** Определить относительную погрешность прибора, если известно: показание прибора (измеренное значение) равно 3, а действительное значение измеряемой величины – 2,97.

**Задача.** Определить вероятную погрешность измерения, если известно:  $x_1 = 2$ ;  $x_2 = 2,3$ ;  $x_3 = 2,6$ ;  $x_4 = 2,9$ ;  $x_5 = 3,2$ . Составить графики зависимости вероятной погрешности от ряда измеренных значений.

#### **Ответить письменно на вопросы:**

1. Назовите виды погрешностей измерений.
2. Что называют вариацией показаний и как ее определяют?
3. Что называется измерением?



## Подгруппа № 2

**Задача.** Определить относительную погрешность прибора, если известно: показание прибора (измеренное значение) равно 1,5, а действительное значение измеряемой величины – 1,4.

**Задача.** Определить вероятную погрешность измерения, если известно:  $x_1 = 5$ ;  $x_2 = 4,8$ ;  $x_3 = 4,6$ ;  $x_4 = 4,4$ ;  $x_5 = 4,2$ . Составить графики зависимости вероятной погрешности от ряда измеренных значений.

**Ответить письменно на вопросы:**

1. Что называют погрешностями измерений?
2. Дайте определение порога чувствительности прибора.
3. Что понимают под случайной погрешностью?

## Подгруппа № 3

**Задача.** Определить относительную погрешность прибора, если известно: показание прибора (измеренное значение) равно 5, а действительное значение измеряемой величины – 4,93.

**Задача.** Определить вероятную погрешность измерения, если известно:  $x_1 = 1$ ;  $x_2 = 0,5$ ;  $x_3 = 0,7$ ;  $x_4 = 0,3$ ;  $x_5 = 0,9$ . Составить графики зависимости вероятной погрешности от ряда измеренных значений.

**Ответить письменно на вопросы:**

1. Как определяется относительная и абсолютная погрешности?
2. Что понимают под грубой погрешностью?
3. Как определяется класс точности средства измерения?

## Подгруппа № 4

**Задача.** Определить относительную погрешность прибора, если известно: показание прибора (измеренное значение) равно 1, а действительное значение измеряемой величины – 0,99.

**Задача.** Определить вероятную погрешность измерения, если известно:  $x_1 = 3$ ;  $x_2 = 3,2$ ;  $x_3 = 3,1$ ;  $x_4 = 3,4$ ;  $x_5 = 3,3$ . Составить графики зависимости вероятной погрешности от ряда измеренных значений.

**Ответить письменно на вопросы:**

1. Как определяется приведенная погрешность?
2. Что называют измерительным прибором. Виды измерительных приборов.
3. Что относится к прямым измерениям?

**Подгруппа № 5**

**Задача.** Определить относительную погрешность прибора, если известно: показание прибора (измеренное значение) равно 3,5, а действительное значение измеряемой величины – 3,6.

**Задача.** Определить вероятную погрешность измерения, если известно:  $x_1 = 4$ ;  $x_2 = 4,1$ ;  $x_3 = 4,3$ ;  $x_4 = 4,5$ ;  $x_5 = 4,7$ . Составить графики зависимости вероятной погрешности от ряда измеренных значений.

**Ответить письменно на вопросы:**

1. Что относится к косвенным измерениям?
2. В каком случае возникает дополнительная погрешность?
3. Как определяется среднее квадратичное отклонение результата измерения?

**Подгруппа № 6**

**Задача.** Определить относительную погрешность прибора, если известно: показание прибора (измеренное значение) равно 4, а действительное значение измеряемой величины – 3,95.

**Задача.** Определить вероятную погрешность измерения, если известно:  $x_1 = 5,25$ ;  $x_2 = 5,5$ ;  $x_3 = 5,75$ ;  $x_4 = 6,25$ ;  $x_5 = 6$ . Составить графики зависимости вероятной погрешности от ряда измеренных значений.

**Ответить письменно на вопросы:**

1. Как определяется предельная погрешность?
2. Что представляет собой непостоянство показаний?
3. Что характеризует допускаемая основная погрешность?

## Подгруппа № 7

**Задача.** Определить относительную погрешность прибора, если известно: показание прибора (измеренное значение) равно 2, а действительное значение измеряемой величины – 1,98.

**Задача.** Определить вероятную погрешность измерения, если известно:  $x_1 = 10,9$ ;  $x_2 = 10,7$ ;  $x_3 = 10,5$ ;  $x_4 = 10,3$ ;  $x_5 = 10$ . Составить графики зависимости вероятной погрешности от ряда измеренных значений.

**Ответить письменно на вопросы:**

1. В чем отличие между абсолютной и относительной погрешностями?
2. Чем определяется точность прибора?
3. Что называют измерительным преобразователем?

**Вопросы для защиты практической работы:**

1. Что называют температурой?
2. Что называют температурной шкалой?
3. Что называют термодинамической температурной шкалой?
4. Какая связь между шкалой Цельсия и Кельвина?
5. Какая связь между шкалой Цельсия и Фаренгейта?
6. Какая связь между шкалой Цельсия и Реомюра?
7. Какая связь между шкалой Реомюра и Кельвина?
8. Какая связь между шкалой Фаренгейта и Реомюра?
9. Какая связь между шкалой Фаренгейта и Кельвина?
10. Что называют реперной точкой?

## Практическая работа № 2 «Термометры расширения. Манометрические термометры»

**Цель работы:** изучить устройство и принцип действия манометрических термометров расширения. Научиться определять вид термометра.

### 1. Теоретическое введение

#### 1.1 Термометры расширения

Физическое свойство тел изменять свой объем в зависимости от нагрева широко используется для измерения температуры. На этом принципе основано устройство *жидкостных стеклянных и дилатометрических термометров*, которые появились давно и послужили для создания первых температурных шкал.

В *жидкостных термометрах*, построенных на принципе теплового расширения жидкости в стеклянном резервуаре, в качестве рабочих веществ используются ртуть и органические жидкости – этиловый спирт, толуол, и др. Наиболее широкое распространение получили ртутные термометры, имеющие по сравнению с термометрами, заполненными органическими жидкостями, существенные преимущества: большой диапазон измерения температуры, при котором ртуть остается жидкой, несмачиваемость стекла ртутью, возможность заполнения термометра химически чистой ртутью из-за легкости ее получения и пр. При нормальном атмосферном давлении ртуть находится в жидком состоянии при температурах от  $-39$  (точка замерзания) до  $357$  °С (точка кипения) и имеет средний температурный коэффициент объемного расширения  $0,18 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ .

Термометры с органическими жидкостями в большинстве своем пригодны лишь для измерения низких температур в пределах  $-190$  –  $100$  °С. Основным достоинством их является высокий коэффициент объемного расширения жидкости, равный в среднем  $1,13 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ , т.е. почти в 6 раз больший, чем у ртути.

Жидкостные термометры, изготавливаемые из стекла, являются местными показывающими приборами. Они состоят из резервуара с жидкостью, капиллярной трубки, присоединенной к резервуару и закрытой с противоположного конца, шкалы и защитной оболочки. Приращение в капилляре термометра столбика жидкости  $\Delta h$  (мм) при нагреве резервуара от температуры  $t_1$  до  $t_2$  определяется по формуле:

$$\Delta h = 1,275 \cdot \frac{V_1 \cdot (\alpha_{жс} - \alpha_c) \cdot (t_1 - t_2)}{d^2} \quad (4)$$

где  $V_1$  – объем жидкости в резервуаре при температуре  $t_1$ , мм<sup>3</sup>;

$\alpha_{ж}$  и  $\alpha_c$  – средние температурные коэффициенты объемного расширения жидкости и стекла, К<sup>-1</sup>;

$d$  – внутренний диаметр капилляра, мм.

Разность средних температурных коэффициентов  $\alpha_{ж}$  и  $\alpha_c$  называется средним температурным коэффициентом видимого расширения  $\alpha_v$  жидкости в стекле и определяется по формуле:

$$\alpha_v = \alpha_{ж} - \alpha_c \quad (5)$$

К *дилатометрическим термометрам* относятся стержневой и пластинчатый (биметаллический) термометры, действие которых основано на относительном удлинении под влиянием температуры двух твердых тел, имеющих различные температурные коэффициенты линейного расширения.

Таблица 2 – Средние температурные коэффициенты линейного расширения материалов при температурах от 0 до 200 °С

№ варианта	Материал	$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$
1	Алюминий	24
2	Железо	12,5
3	Инвар	3,5
4	Кварц плавленный	0,55
5	Латунь	18,5
6	Никель	14
7	Фарфор	3,5
8	Сталь немагнитная	17
9	Стекло	3,3
10	Сталь X18H10T	16,5

## 1.2 Манометрические термометры

Действие манометрических термометров основано на зависимости давления жидкости, газа или пара с яркостью в замкнутом объеме (термосистеме) от температуры. Указанные термометры являются промышленными показывающими и самопишущими приборами, предназначенными для измерения температуры в диапазоне до 600 °С. Класс точности их 1 – 2,5.

В зависимости от заключенного в термосистеме рабочего вещества манометрические термометры разделяются на: *газовые, жидкостные и конденсационные*. Выбор рабочего вещества

производится исходя из заданного диапазона показаний и условий измерения.

*Газовые манометрические термометры* заполняются азотом. Термометры имеют равномерную шкалу, так как изменение давления газа при постоянном объеме пропорционально изменению его температуры, т.е.

$$P_2 - P_1 = \beta \cdot P_1 \cdot (t_2 - t_1) \quad (6)$$

где  $P_2$  и  $P_1$  – конечное и начальное давления рабочего вещества, МПа;  
 $\beta$  – температурный коэффициент давления,  $K^{-1}$ ;  
 $t_1$  и  $t_2$  – начальная и конечная температуры рабочего вещества,  $^{\circ}C$ .

Для газов коэффициент давления  $\beta$  равен коэффициенту объемного расширения  $\alpha$ , который имеет практически постоянное значение, равное  $3,66 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ . Таким образом, для газов равенство имеет вид:

$$P_2 - P_1 = \alpha \cdot P_1 \cdot (t_2 - t_1) \quad (7)$$

В действительности изменение давления газа в системе будет несколько меньшим вследствие некоторого увеличения объема термобаллона при нагревании.

Барометрическая погрешность газового термометра уменьшается при повышении в термосистеме начального давления  $P_1$  поэтому заполнение последней азотом производится при давлении до 3,5 МПа.

Жидкостные манометрические термометры заполняются органическими полиметилсилоксановыми жидкостями. Изменение давления при нагревании этих жидкостей в замкнутой термосистеме находится в прямой зависимости от температуры.

Температурная погрешность у жидкостных термометров несколько больше, чем у газовых, поэтому длина капилляра у них не превышает 10 м.

Для уменьшения барометрической погрешности термометры заполняются жидкостью при начальном давлении 1,5 – 2 МПа.

Гидростатическая погрешность жидкостных термометров, возникающая в связи с тем, что давление, передаваемое термобаллоном пружине, будет больше, на величину столба жидкости, заключенной в капилляре при расположении термобаллона выше пружины, и меньше на ту же величину при обратном расположении, может быть устранена путем изменения корректором нуля начального положения конца трубчатой пружины (указательной стрелки) после установки прибора или определена из выражения:

$$\Delta P = \pm 1 \cdot 10^{-6} \cdot h \cdot \rho \cdot g \quad (8)$$

где  $\Delta P$  – давление столба жидкости в капилляре, МПа;

$h$  – высота столба жидкости в капилляре, м;

$\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – местное ускорение свободного падения тел, м<sup>2</sup>/с.

Конденсационные манометрические термометры имеют в качестве рабочего вещества низкокипящие органические жидкости (хлористый метил, ацетон и фреон). Действие этих приборов основано на законе Дальтона, дающем однозначимую зависимость между давлением и температурой насыщенного пара вплоть до критической температуры вещества.

Термобаллон конденсационных термометров на 2/3 залит рабочей жидкостью, над которой находится образующийся из нее насыщенный пар. Капилляр и пружина термометра заполнены той же жидкостью, конец его опускается до дна термобаллона.

На показания конденсационного термометра не влияет изменение температуры окружающего воздуха, так как давление в системе зависит только от давления пара в термобаллоне, т.е. от измеряемой температуры.

## Расчетные задания

### Подгруппа № 1

*Задание 1.* Определить средний температурный коэффициент видимого расширения стеклянного жидкостного термометра, если вид жидкости – **РТУТЬ**.

*Задание 2.* Определить поправку на температуру выступающего столбика жидкостного термометра, используя данные предыдущего задания, если:

<b>n</b>	4
<b>t<sub>в</sub></b> , °C	22
<b>t<sub>Т</sub></b> , °C	22,8

Расчет произвести по формуле:

$$\Delta t = n \cdot \alpha_{\text{в}} (t_{\text{Т}} - t_{\text{в}}), \text{ } ^\circ\text{C}$$

*Задание 3.* Определить длину тела при заданной температуре дилатометрического термометра, если:

<b>l<sub>0</sub></b>	10 см	5 мм
<b>t, °C</b>	5	2
	10	7
	15	13
	20	19

Расчет произвести по формуле:

$$l = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t), \text{ м}$$

Построить графическую зависимость между температурой и длиной тела при этой температуре.

*Задание 4.* Определить температурный коэффициент давления газового манометрического термометра, если дано:  $\Delta P = 10 \text{ МПа}$ ;  $\Delta t = 3 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $P_1 = 1 \text{ МПа}$ .

*Задание 5.* Определить давление столба жидкости в капилляре жидкостного манометрического термометра, если известно:  $h = 11 \text{ мм}$ ;  $\rho = 684 \text{ кг/м}^3$ .



## Подгруппа № 2

*Задание 1.* Определить средний температурный коэффициент видимого расширения фарфорового жидкостного термометра, если вид жидкости – **ТОЛУОЛ**.

*Задание 2.* Определить поправку на температуру выступающего столбика жидкостного термометра, используя данные предыдущего задания, если:

<b>n</b>	6
<b>t<sub>в</sub></b> , °С	23
<b>t<sub>г</sub></b> , °С	23,7

Расчет произвести по формуле:

$$\Delta t = n \cdot \alpha_{\text{в}} (t_{\text{г}} - t_{\text{в}}), \text{ } ^\circ\text{C}$$

*Задание 3.* Определить длину тела при заданной температуре дилатометрического термометра, если:

<b>l<sub>0</sub></b>	1,6 см	11 мм
<b>t</b> , °С	6	3
	11	8
	16	13
	21	19

Расчет произвести по формуле:

$$l = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t), \text{ м}$$

Построить графическую зависимость между температурой и длиной тела при этой температуре.

*Задание 4.* Определить температурный коэффициент давления газового манометрического термометра, если дано:  $\Delta P = 11 \text{ МПа}$ ;  $\Delta t = 3,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $P_1 = 2 \text{ МПа}$ .

*Задание 5.* Определить давление столба жидкости в капилляре жидкостного манометрического термометра, если известно:  $h = 12 \text{ мм}$ ;  $\rho = 790 \text{ кг/м}^3$ .

### Подгруппа № 3

**Задание 1.** Определить средний температурный коэффициент видимого расширения стеклянного жидкостного термометра, если вид жидкости – **ЭТИЛОВЫЙ СПИРТ**.

**Задание 2.** Определить поправку на температуру выступающего столбика жидкостного термометра, используя данные предыдущего задания, если:

<b>n</b>	8
<b>t<sub>в</sub></b> , °C	24
<b>t<sub>г</sub></b> , °C	24,9

Расчет произвести по формуле:

$$\Delta t = n \cdot \alpha_{\text{в}} (t_{\text{г}} - t_{\text{в}}), \text{ } ^\circ\text{C}$$

**Задание 3.** Определить длину тела при заданной температуре дилатометрического термометра, если:

<b>l<sub>0</sub></b>	7 см	0,9 см
<b>t</b> , °C	8	4
	13	9
	18	14
	23	19

Расчет произвести по формуле:

$$l = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t), \text{ м}$$

Построить графическую зависимость между температурой и длиной тела при этой температуре.

**Задание 4.** Определить температурный коэффициент давления газового манометрического термометра, если дано:  $\Delta P = 12 \text{ МПа}$ ;  $\Delta t = 4 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $P_1 = 3 \text{ МПа}$ .

**Задание 5.** Определить давление столба жидкости в капилляре жидкостного манометрического термометра, если известно:  $h = 13 \text{ мм}$ ;  $\rho = 882 \text{ кг/м}^3$ .

#### Подгруппа № 4

*Задание 1.* Определить средний температурный коэффициент видимого расширения фарфорового жидкостного термометра, если вид жидкости – **БЕНЗОЛ**.

*Задание 2.* Определить поправку на температуру выступающего столбика жидкостного термометра, используя данные предыдущего задания, если:

<b>n</b>	10
<b>t<sub>в</sub></b> , °С	25
<b>t<sub>г</sub></b> , °С	25,6

Расчет произвести по формуле:

$$\Delta t = n \cdot \alpha_{\text{в}} (t_{\text{г}} - t_{\text{в}}), \text{ } ^\circ\text{C}$$

*Задание 3.* Определить длину тела при заданной температуре дилатометрического термометра, если:

<b>l<sub>0</sub></b>	1,3 см	21 мм
<b>t</b> , °С	9	10
	14	12
	19	14
	24	16

Расчет произвести по формуле:

$$l = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t), \text{ м}$$

Построить графическую зависимость между температурой и длиной тела при этой температуре.

*Задание 4.* Определить температурный коэффициент давления газового манометрического термометра, если дано:  $\Delta P = 13 \text{ МПа}$ ;  $\Delta t = 4,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $P_1 = 4 \text{ МПа}$ .

*Задание 5.* Определить давление столба жидкости в капилляре жидкостного манометрического термометра, если известно:  $h = 14 \text{ мм}$ ;  $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ .

### Подгруппа № 5

*Задание 1.* Определить средний температурный коэффициент видимого расширения стеклянного жидкостного термометра, если вид жидкости – **БЕНЗОЛ**.

*Задание 2.* Определить поправку на температуру выступающего столбика жидкостного термометра, используя данные предыдущего задания, если:

<b>n</b>	3
<b>t<sub>в</sub></b> , °C	26
<b>t<sub>г</sub></b> , °C	26,5

Расчет произвести по формуле:

$$\Delta t = n \cdot \alpha_{\text{в}} (t_{\text{г}} - t_{\text{в}}), \text{ } ^\circ\text{C}$$

*Задание 3.* Определить длину тела при заданной температуре дилатометрического термометра, если:

<b>l<sub>0</sub></b>	1,2 см	3,2 мм
<b>t</b> , °C	8	4
	13	9
	18	14
	23	19

Расчет произвести по формуле:

$$l = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t), \text{ м}$$

Построить графическую зависимость между температурой и длиной тела при этой температуре.

*Задание 4.* Определить температурный коэффициент давления газового манометрического термометра, если дано:  $\Delta P = 14 \text{ МПа}$ ;  $\Delta t = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $P_1 = 5 \text{ МПа}$ .

*Задание 5.* Определить давление столба жидкости в капилляре жидкостного манометрического термометра, если известно:  $h = 15 \text{ мм}$ ;  $\rho = 810 \text{ кг/м}^3$ .

### Подгруппа № 6

*Задание 1.* Определить средний температурный коэффициент видимого расширения алюминиевого жидкостного термометра, если вид жидкости – **МЕТИЛОВЫЙ СПИРТ**.

*Задание 2.* Определить поправку на температуру выступающего столбика жидкостного термометра, используя данные предыдущего задания, если:

<b>n</b>	5
<b>t<sub>в</sub></b> , °C	27
<b>t<sub>т</sub></b> , °C	27,1

Расчет произвести по формуле:

$$\Delta t = n \cdot \alpha_{\text{в}} (t_{\text{т}} - t_{\text{в}}), \text{ } ^\circ\text{C}$$

*Задание 3.* Определить длину тела при заданной температуре дилатометрического термометра, если:

<b>l<sub>0</sub></b>	10 см	1,6 см
<b>t</b> , °C	5	6
	10	11
	15	16
	20	21

Расчет произвести по формуле:

$$l = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t), \text{ м}$$

Построить графическую зависимость между температурой и длиной тела при этой температуре.

*Задание 4.* Определить температурный коэффициент давления газового манометрического термометра, если дано:  $\Delta P = 15 \text{ МПа}$ ;  $\Delta t = 5,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $P_1 = 6 \text{ МПа}$ .

*Задание 5.* Определить давление столба жидкости в капилляре жидкостного манометрического термометра, если известно:  $h = 1,6 \text{ см}$ ;  $\rho = 1020 \text{ кг/м}^3$ .

### Подгруппа № 7

*Задание 1.* Определить средний температурный коэффициент видимого расширения алюминиевого жидкостного термометра, если вид жидкости – **ТОЛУОЛ**.

*Задание 2.* Определить поправку на температуру выступающего столбика жидкостного термометра, используя данные предыдущего задания, если:

<b>n</b>	7
<b>t<sub>в</sub></b> , °С	28
<b>t<sub>т</sub></b> , °С	28,3

Расчет произвести по формуле:

$$\Delta t = n \cdot \alpha_{\text{в}} (t_{\text{т}} - t_{\text{в}}), \text{ } ^\circ\text{C}$$

*Задание 3.* Определить длину тела при заданной температуре дилатометрического термометра, если:

<b>l<sub>0</sub></b>	7 см	2 см
<b>t</b> , °С	3	7
	8	12
	15	17
	20	22

Расчет произвести по формуле:

$$l = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t), \text{ м}$$

Построить графическую зависимость между температурой и длиной тела при этой температуре.

*Задание 4.* Определить температурный коэффициент давления газового манометрического термометра, если дано:  $\Delta P = 16 \text{ МПа}$ ;  $\Delta t = 6 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $P_1 = 7 \text{ МПа}$ .

*Задание 5.* Определить давление столба жидкости в капилляре жидкостного манометрического термометра, если известно:  $h = 1,7 \text{ см}$ ;  $\rho = 1270 \text{ кг/м}^3$ .

### **Вопросы для защиты практической работы:**

1. Перечислите основные свойства жидкостных термометров.
2. Принцип действия жидкостных термометров.
3. Перечислите достоинства и недостатки ртутных термометров.
4. Принципы установки ртутных термометров.
5. Устройство дилатометрических термометров.
6. Устройство газовых манометрических термометров.
7. Назовите принцип действия манометрических термометров.
8. Устройство конденсационных манометрических термометров.

## Практическая работа № 3 «Пирометры излучения»

**Цель работы:** Изучить устройство и принцип действия пирометров излучения. Уметь рассчитывать пирометры излучения.

### 1. Теоретическое введение

Пирометры применяются для измерения температуры тел в диапазоне 300 – 6000 °С. Действие этих приборов основано на зависимости теплового излучения нагретых тел от их температуры и физико-химических свойств. В отличие от термометров первичный преобразователь пирометра не подвергается влиянию высокой температуры и не искажает температурного поля, так как находится вне измеряемой среды.

С повышением температуры нагретого тела интенсивность его теплового излучения в виде электромагнитных волн различной длины быстро возрастает. При нагреве до 500 °С тело излучает невидимые инфракрасные лучи большой длины волны, однако дальнейшее увеличение температуры вызывает появление и видимых лучей меньшей длины, благодаря которым тело начинает светиться. Вначале раскаленное тело имеет темно-красный цвет, который по мере роста температуры и появления лучей постепенно убывающей длины волны переходит в красный, оранжевый, желтый и, наконец, белый цвет, состоящий из комплекса лучей разной длины волны.

Одновременно с увеличением температуры нагретого тела и изменением его цвета сильно возрастает интенсивность частичного (монохроматического или одноцветного) излучения (яркость) для данной эффективной длины волны, а так же заметно увеличивается интенсивность суммарного излучения (радиация) телом энергии, что позволяет использовать эти свойства для измерения температуры нагретых тел.

Разные физические тела, будучи нагреты до одной и той же температуры, имеют неодинаковые частичную и суммарную интенсивности излучения и обладают различными коэффициентами поглощения, представляющими собой отношение энергии, поглощенной телом, к энергии, падающей на тело.

Наибольшей способностью излучения и поглощения энергии обладает так называемое абсолютно черное тело, в природе не существующее, представляющее собой воображаемый идеальный излучатель. Это тело поглощает все падающие на него лучи, т.е. имеет коэффициент поглощения, равный единице, и обладает наибольшей интенсивностью излучения.



Законы излучения черного тела хорошо изучены, поэтому его лучеиспускающая способность может служить как бы эталоном для сравнения с лучеиспускательной способностью различных физических тел, имеющих при одинаковой температуре меньшую, чем черное тело, интенсивность излучения. Физические тела обладают способностью отражать часть падающих на них лучей и, следовательно, всегда имеют коэффициент поглощения меньше единицы.

Интенсивность излучения и коэффициент поглощения при данной температуре зависят от состава вещества и состояния его поверхности. Тело, имеющее темную шероховатую поверхность, ближе по своим свойствам к черному телу, чем тело со светлой и полированной поверхностью.

Интенсивность излучения описывается уравнением Планка. По закону Планка:

$$E_0 = \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot \left( e^{\frac{C_2}{T \cdot \lambda}} - 1 \right)} \quad (9)$$

где  $E_0$  – интенсивность излучения, Вт/м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>;

$C_1 = 0,374 \cdot 10^{-15}$  - первая постоянная Планка, Вт · м<sup>2</sup>;

$C_2 = 1,439 \cdot 10^{-2}$  – вторая постоянная Планка, м · К;

$T$  – абсолютная температура тела, °К;

$\lambda$  – длина волны, м.

$$\lambda = \frac{2886}{T} \cdot 10^{-6}, \text{ м} \quad (10)$$

## Расчетные задания

### Подгруппа № 1

*Задание 1.* Определить изменение интенсивности излучения в оптическом пирометре, если:

t, °C	15	25
	30	40
	45	55
	60	70

Построить зависимость интенсивности излучения и длины волны от температуры тела.

*Задание 2.* Опишите устройство оптического пирометра типа ОППИР-017.

### Подгруппа № 2

*Задание 1.* Определить изменение интенсивности излучения в оптическом пирометре, если:

t, °C	20	30
	40	40
	60	50
	80	60

Построить зависимость интенсивности излучения и длины волны от температуры тела.

*Задание 2.* Устройство (схема) фотоэлектрического пирометра типа ФЭП.

### Подгруппа № 3

*Задание 1.* Определить изменение интенсивности излучения в оптическом пирометре, если:

t, °C	35	40
	45	35
	55	30
	65	25

Построить зависимость интенсивности излучения и длины волны от температуры тела.

*Задание 2.* Опишите устройство оптического пирометра типа ОППИР-017.

#### **Подгруппа № 4**

*Задание 1.* Определить изменение интенсивности излучения в оптическом пирометре, если:

t, °C	45	50
	35	45
	25	40
	15	35

Построить зависимость интенсивности излучения и длины волны от температуры тела.

*Задание 2.* Устройство (схема) фотоэлектрического пирометра типа ФЭП.

#### **Подгруппа № 5**

*Задание 1.* Определить изменение интенсивности излучения в оптическом пирометре, если:

t, °C	55	60
	40	50
	25	40
	10	30

Построить зависимость интенсивности излучения и длины волны от температуры тела.

*Задание 2.* Опишите устройство оптического пирометра типа ОППИР-017.

### **Подгруппа № 6**

*Задание 1.* Определить изменение интенсивности излучения в оптическом пирометре, если:

t, °C	20	50
	40	45
	60	40
	80	35

Построить зависимость интенсивности излучения и длины волны от температуры тела.

*Задание 2.* Устройство (схема) фотоэлектрического пирометра типа ФЭП.

### **Подгруппа № 7**

*Задание 1.* Определить изменение интенсивности излучения в оптическом пирометре, если:

t, °C	15	45
	30	35
	45	25
	60	15

Построить зависимость интенсивности излучения и длины волны от температуры тела.

*Задание 2.* Опишите устройство оптического пирометра типа ОППИР-017.

### **Вопросы для защиты практической работы:**

1. Какие устройства называются пирометрами?
2. Уравнение Планка.
3. Какие пирометры называются оптическими и фотоэлектрическими?
4. Какая температура называется яркостной, и какие приборы ее измеряют?
5. Какие приборы измеряют температуру тела по их интегральной излучательности?
6. Какой пирометр называется пирометром частичного излучения?
7. Какая температура называется радиационной?
8. Изображение нити пирометрической лампы.

## Практическая работа № 4 «Измерения давления. Манометры»

**Цель работы:** Изучить устройство и принцип действия манометров. Уметь рассчитывать промышленные и лабораторные манометры.

### 1. Теоретическое введение

#### 1.1 Виды давления

При измерении различают: атмосферное, избыточное, вакуумметрическое и абсолютное давления.

*Атмосферное (барометрическое)* давление  $P_{\text{бар}}$  или  $P_{\text{атм}}$  создается массой воздушного столба земной атмосферы. Оно имеет переменное значение, зависящее от высоты местности над уровнем моря, географической широты и метеорологических условий (погоды).

*Избыточное давление*  $P_{\text{изб}}$  выражает превышение давления среды над атмосферным давлением.

*Вакуумметрическое давление*  $P_{\text{вак}}$  среды характеризует давление (вакуум), недостающее до атмосферного давления. Иногда вакуумметрическое давление выражают в виде относительной величины  $V$  в процентах атмосферного давления:

$$V = \frac{P_{\text{вак}}}{P_{\text{бар}}} \cdot 100 \quad (11)$$

*Абсолютное давление*  $P_{\text{абс}}$  среды может быть больше или меньше атмосферного. В первом случае абсолютное давление равно сумме атмосферного и избыточного давлений:

$$P_{\text{абс}} = P_{\text{бар}} + P_{\text{изб}} \quad (12)$$

Во втором случае абсолютное давление меньше атмосферного на величину вакуумметрического давления, т.е.

$$P_{\text{абс}} = P_{\text{бар}} - P_{\text{вак}} \quad (13)$$

В частном случае, когда  $P_{\text{изб}}$  или  $P_{\text{вак}}$  равно нулю, абсолютное давление равно атмосферному.

*Полное давление* движущейся среды  $P_{\text{пол}}$ , равно сумме статического  $P_{\text{стат}}$  и динамического  $P_{\text{д}}$  давлений, т.е.

$$P_{\text{пол}} = P_{\text{стат}} + P_{\text{д}} \quad (14)$$

*Статическое давление*  $P_{\text{стат}}$  потока может быть избыточным или вакуумметрическим, в частном случае оно может быть равно атмосферному.

*Динамическое давление*  $P_{\text{д}}$  (Па), зависящее от скорости потока (скоростной напор) для жидкости, а так же для газа и пара при умеренных скоростях определяется по формуле:

$$P_{\text{д}} = \frac{v^2 \cdot \rho}{2}, \text{ Па} \quad (15)$$

где  $v$  – скорость движения вещества, м/с;

$\rho$  – плотность вещества, кг/м<sup>3</sup>.

## 1.2 Классификация приборов для измерения давления

Измерение давления основывается главным образом на уравнивании действующего усилия при помощи столба жидкости или за счет упругой деформации различных чувствительных элементов.

Используемые в теплоэнергетике приборы для измерения давления делятся на следующие группы:

1. Манометры избыточного давления – для измерения давления выше атмосферного;
2. Тяго- и напоромеры – для измерения небольшого вакуумметрического и избыточного давлений;
3. Вакуумметры – для измерения вакуумметрического давления;
4. Мановакуумметры – для измерения избыточного и вакуумметрического давлений;
5. Манометры абсолютного давления – для измерения давления, отсчитываемого от абсолютного нуля;
6. Барометры – для измерения атмосферного давления;
7. Дифференциальные манометры (дифманометры) – для измерения разности двух давлений (перепада давления).

Дифманометры широко применяются для измерения расхода вещества (дифманометры-расходомеры) и уровня жидкости (дифманометры-уровнемеры).

Подавляющее количество приборов, применяемых для измерения давления, являются манометрами избыточного давления, которые по принципу действия разделяются на жидкостные и деформационные.



## Расчетные задания

Задание 1. Определить абсолютное давление, если известно:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{\text{изб}}$ , мм рт.ст	780	800	850	900	950	770	870	970	820	920
$P_{\text{вак}}$ , мм рт.ст	300	350	400	450	500	550	420	520	470	570
$P_{\text{ман}}$ , МПа	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25

Задание 2. Индивидуальное

### Подгруппа № 1

**Задача.** Определить относительную величину вакуумметрического давления, если известно, что показания барометра  $6,3 \text{ кгс/см}^2$ , а абсолютное давление равно  $4,2 \text{ бар}$ .

**Задача.** Определить разность уровней жидкости в двухтрубном U-образном манометре, если плотность жидкости в манометре  $13\,600 \text{ кг/м}^3$ , а плотность воздуха  $1,23 \text{ кг/м}^3$ , площадь сечения трубки  $0,033 \text{ м}^2$ , величина барометрического давления равно  $4,5 \text{ МПа}$ , величина абсолютного давления  $0,72 \text{ ат}$ .

### Подгруппа № 2

**Задача.** Определить величину абсолютного давления, если известно, что избыточное давление равно  $7,35 \text{ бар}$ , а показания барометра  $532 \text{ мм рт.ст}$ .

**Задача.** Манометр, установленный на водопроводе, показывает давление  $3 \text{ кгс/см}^2$ . Определить, чему равно абсолютное давление, измеренное в Па; м вод.ст. и мм рт.ст. Атмосферное давление принять равным  $2 \text{ кгс/см}^2$ .

### Подгруппа № 3

**Задача.** Определить относительную величину вакуумметрического давления, если известно, что абсолютное давление равно  $5,5 \text{ кгс/м}^2$ , вакуумметр показывает 4,3 бар.

**Задача.** Определить площадь сечения сосуда в однотрубном чашечном манометре, если разность плотностей составляет  $10\,954 \text{ кг/м}^3$ . Высота столба жидкости в капилляре 0,65 м, внутренний диаметр капилляра 7,8 мм, а измеряемое давление равно 2,2 ат.

### Подгруппа № 4

**Задача.** Определить показания вакуумметра, если показания барометра 682 мм рт.ст., а относительная величина вакуумметрического давления равна 45,5 %.

**Задача.** Определить разность давлений, показываемую поплавковым техническим манометром, если высота столба жидкости 0,42 м, а разность плотностей жидкости  $1783 \text{ кг/м}^3$ .

### Подгруппа № 5

**Задача.** Определить относительную величину вакуумметрического давления, если известно, что показания барометра  $7,2 \text{ кгс/см}^2$ , а абсолютное давление равно 5 бар.

**Задача.** Манометр, установленный на водопроводе, показывает давление  $5 \text{ кгс/см}^2$ . Определить, чему равно абсолютное давление, измеренное в Па; м вод.ст. и мм рт.ст. Атмосферное давление принять равным  $1 \text{ кгс/см}^2$ .

### Подгруппа № 6

**Задача.** Определить показания вакуумметра, если показания барометра 682 мм рт.ст., а относительная величина вакуумметрического давления равна 45,5 %.

**Задача.** Определить площадь сечения сосуда в однотрубном чашечном манометре, если разность плотностей составляет  $10\,123 \text{ кг/м}^3$ . Высота столба жидкости в капилляре 0,72 м, внутренний диаметр капилляра 8,2 мм, а измеряемое давление равно 3,1 ат.

## Подгруппа № 7

**Задача.** Определить показания вакуумметра, если показания барометра 759 мм рт.ст., а относительная величина вакуумметрического давления равна 50,4 %.

**Задача.** Определить разность давлений, показываемую поплавковым техническим манометром, если высота столба жидкости 0,56 м, а разность плотностей жидкости  $1856 \text{ кг/м}^3$ .

### **Вопросы для защиты практической работы:**

1. Какие виды давлений вы знаете?
2. Какие бывают классификации приборов для измерения давлений?
3. Классификация манометров по роду измеряемой величины.
4. Классификация манометров по принципу действия.
5. Устройство жидкостных манометров.
6. Принцип действия жидкостных манометров.
7. Технические приборы для измерения давления.
8. Единицы измерения давления.

## **Практическая работа № 5 «Измерители количества»**

**Цель работы:** Изучить устройство и принцип действия весов, счетчиков для жидкости и газов. Уметь рассчитывать промышленные и лабораторные весы, разные виды счетчиков.

### **1. Теоретическое введение**

#### **1.1 Измерители количества твердых и сыпучих материалов**

В химических производствах приходится измерять количество (массу) твердых сыпучих материалов, начиная от крупнокусковых и кончая токодисперсными порошками. Наиболее точным способом измерения количества твердых сыпучих материалов является взвешивание.

По назначению весы можно разделить на основные группы:

- весы общего назначения;
- технологические весы;
- лабораторные весы;
- метрологические весы;
- весы для специальных измерений.

В промышленных условиях применяются в основном весы общего назначения (настольные, платформенные) и технологические.

По принципу действия технологические весы делятся на порционные (периодические) и непрерывного взвешивания. Порционные весы нашли широкое применение в автоматических порционных дозаторах, а весы для непрерывного взвешивания – в автоматических весовых дозаторах непрерывного действия. Разнообразные типы весов в зависимости от способа уравновешивания разделяются на коромысловые, квадратные, пружинные, комбинированные и весы с преобразованием силы в электрический и пневматический сигналы (тензометрические и пневматические).

#### **1.2 Измерители количества жидкости и газа**

##### **1.2.1 Назначение приборов для определения количества жидкости, газа и пара**

Значение счетчиков и особенно расходомеров жидкости, газа и пара очень велико. Раньше основное применение имели счетчики воды и газа преимущественно в коммунальном хозяйстве городов. Но с развитием промышленности все большее значение приобрели расходомеры жидкости, пара и газа.

Счетчики жидкости и газа необходимы для учета массы или объема нефти, газа и других веществ, транспортируемых по трубам и потребляемых различными объектами. Без этих измерений очень

трудно контролировать утечки и исключать потери ценных продуктов. Снижение погрешности измерений хотя бы на 1 % может обеспечить многомиллионный экономический эффект.

### **1.2.2 Исходная терминология и единицы измерения**

*Расход* – это количество вещества, протекающее через данное сечение в единицу времени.

Прибор, измеряющий массу или объем вещества – *счетчиком количества* или просто *счетчиком*. Устройство, непосредственно воспринимающее измеряемый расход (например, диафрагма, сопло, напорная трубка) и преобразующее его в другую величину (например, в перепад давления), которая удобна для измерения, называется *преобразователем расхода*.

Количество вещества измеряется в единицах объема (кубических метрах и кубических сантиметрах), а объем вещества, проходящего через счетчик, измеряется так же в единицах объема деленных на единицу времени (кубических метрах в секунду, кубических метрах в час и т.д.).

С помощью единиц объема можно правильно определять количество вещества (особенно газа), если известны его давление и температура. В связи с этим результаты измерения объемного расхода газа обычно приводят к стандартным (или как их принято называть нормальным) условиям, т.е. к температуре 293 °К и давлению 101 325 Па.

### **1.2.3 Современные требования к приборам для измерения расхода и количества**

В настоящее время к счетчикам предъявляется много требований, удовлетворить которые совместно достаточно сложно и не всегда возможно. Имеются две группы требований.

К первой группе относятся индивидуальные требования, предъявляемые к приборам для измерения количества: высокая точность, надежность, независимость результатов измерения от изменения плотности вещества, быстрое действие и значительный диапазон измерения.

Ко второй группе относятся требования, которые характеризуют всю группу счетчиков: необходимость измерения расхода и количества очень разнообразной номенклатуры вещества и отличающимися свойствами, различных значений расхода от очень малых до чрезвычайно больших и при различных давлениях и температурах.

### **1.2.4 Классификация счетчиков**

Существующие счетчики количества жидкости и газа по принципу действия делятся на: объемные, весовые и скоростные.

Для измерения количества газа применяется объемный метод.

Принцип действия *объемных счетчиков* основан на измерении определенного объема жидкости, вытесняемой из измерительной камеры под действием разности давлений, и суммировании результатов этих измерений.

*Скоростные счетчики* для измерения количества жидкостей работают по принципу измерения средней скорости движущегося потока. Количество жидкости  $Q$  связано со средней скоростью движущегося потока  $v_{cp}$  (м/с) – это такая скорость, с которой должны были бы двигаться все частицы жидкости через данное живое сечение потока  $S$  (м<sup>3</sup>), чтобы сохранился расход, соответствующий действительному распределению скоростей в живом сечении

$$v_{cp} = \frac{Q}{S}, \text{ м/с} \quad (16)$$

О количестве жидкости, прошедшей через прибор, судят по числу оборотов лопастной вертушки, расположенной на пути потока. Считая, что скорость вращения вертушки пропорциональна средней скорости потока:

$$n = c \cdot v_{cp} \quad (17)$$

*Счетчики количества газов.* Принцип их работы основан на непрерывном отмеривании и отсчете равным объемных порций газа. Число этих объемов регистрируется счетным механизмом.

Количество газа измеряют исключительно объемным методом. Для получения сравнимых результатов измерений необходимо объем газа привести к следующим нормальным условиям: температура 20 °С (293,15 °К), давление 760 мм рт.ст. (101 325 Па), влажность 0.

Пересчет объема сухого газа к объему  $V_n$  в указанных условиях производится по формуле:

$$V_n = V \cdot \frac{P}{P_n} \cdot \frac{T_n}{T \cdot K} \quad (18)$$

где  $P$  – абсолютное давление газа в рабочем состоянии;

$P_n$  – давление, соответствующее нормальному состоянию газа;

$T$  – абсолютная температура газа в рабочем состоянии, °К;

$T_n$  – абсолютная температура, соответствующая нормальному состоянию газа, равная 293,15 °К;

$K$  – коэффициент, учитывающий отклонения реального газа от идеального газа (коэффициент сжимаемости газа); при давлении, меньшем 0,49 МПа и температуре ниже 50 °С коэффициент  $K = 1$  для всех газов.

## Расчетные задания

**Задание 1.** Определить, можно ли использовать для взвешивания 25 тонн угля автоматические конвейерные весы, если известно:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$v, \text{ м/с}$	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9
$G_T', \text{ кг/м}$	1120	1130	1140	1150	1160	1170	1180	1190	1200	1210

$$G_T = \geq 300 \cdot v \cdot G_T'$$

где  $G_T'$  - наибольшая погонная нагрузка весов, кг/м;  
 $v$  – скорость движения ленты конвейера, м/с.

**Задание 2.** Определить относительную погрешность показаний конвейерных весов, если известно:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$G_1, \text{ кг}$	1200	1200	1205	1203	1204	1201	1202	1208	1295	1210
$G_2, \text{ кг}$	1230	1240	1250	1260	1270	1280	1290	1300	1310	1320
$G_d, \text{ кг}$	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110

$$\delta = \frac{(G_2 - G_1) - G_d}{G_d} \cdot 100 \%$$

где  $G_2$  и  $G_1$  – показания счетного устройства весов перед началом проверки и после ее окончания, кг;

$G_d$  – действительное значение массы топлива, пропущенной через весы, кг.

Относительная погрешность показаний конвейерных весов не должна превышать  $\pm 1 \%$ .

**Задание 3.** Определить скорость вращения вертушки счетчика, установленного в трубопроводе с внутренним диаметром ( $d$ ) при прохождении воды с температурой ( $t$ ) турбулентным потоком ( $Re$ ).

№ вариант а	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Re$	1200 0	1210 0	1220 0	1230 0	1240 0	1250 0	1260 0	1270 0	1280 0	1290 0
$t, ^\circ\text{C}$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
$c$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$d$	15 мм	25 мм	35 мм	45 мм	55 мм	6,5 см	7,5 см	8,5 см	135 мм	268 мм

#### Задание 4. Индивидуальное

##### Подгруппа № 1

**Задача.** Определить производительность автоматических порционных весов ( $Q_B$ ) и питателя топлива ( $Q_{II}$ ), если известно:  $m = 12$  кг;  $\tau_{II} = 1$ , сек;  $\tau_M = 0,9$ , сек.

$$Q_B = \frac{m}{\tau_B}, \text{ кг/с}$$

где  $m$  – масса взвешиваемой порции, кг;

$\tau_B$  – рабочий цикл весов, сек.

$$\tau_B = \tau_{II} + \tau_M$$

где  $\tau_{II}$  – рабочий цикл питателя топлива, сек;

$\tau_M$  – рабочий цикл механизмов и автоматики, сек.

$$Q_{II} = Q_B \cdot \left(1 + \frac{\tau_M}{\tau_{II}}\right)$$

Построить график зависимости производительности весов и питателя от массы взвешиваемой порции топлива.

**Ответить письменно на вопросы:**

1. Где устанавливаются автоматические конвейерные весы?
2. Виды конвейерных весов.



## Подгруппа № 2

**Задача.** Определить производительность автоматических порционных весов ( $Q_B$ ) и питателя топлива ( $Q_{\Pi}$ ), если известно:  $m = 13$  кг;  $\tau_{\Pi} = 1,5$ , сек;  $\tau_M = 0,91$ , сек.

$$Q_B = \frac{m}{\tau_B}, \text{ кг/с}$$

где  $m$  – масса взвешиваемой порции, кг;

$\tau_B$  – рабочий цикл весов, сек.

$$\tau_B = \tau_{\Pi} + \tau_M$$

где  $\tau_{\Pi}$  – рабочий цикл питателя топлива, сек;

$\tau_M$  – рабочий цикл механизмов и автоматики, сек.

$$Q_{\Pi} = Q_B \cdot \left(1 + \frac{\tau_M}{\tau_{\Pi}}\right)$$

Построить график зависимости производительности весов и питателя от массы взвешиваемой порции топлива.

**Ответить письменно на вопросы:**

1. Какие весы механизмируют не только процесс взвешивания, но и суммируют результаты измерений при помощи счетного устройства?
2. На чем основан принцип действия объемных счетчиков?

### Подгруппа № 3

**Задача.** Определить производительность автоматических порционных весов ( $Q_B$ ) и питателя топлива ( $Q_{\Pi}$ ), если известно:  $m = 14$  кг;  $\tau_{\Pi} = 2$ , сек;  $\tau_M = 0,92$ , сек.

$$Q_B = \frac{m}{\tau_B}, \text{ кг/с}$$

где  $m$  – масса взвешиваемой порции, кг;

$\tau_B$  – рабочий цикл весов, сек.

$$\tau_B = \tau_{\Pi} + \tau_M$$

где  $\tau_{\Pi}$  – рабочий цикл питателя топлива, сек;

$\tau_M$  – рабочий цикл механизмов и автоматики, сек.

$$Q_{\Pi} = Q_B \cdot \left( 1 + \frac{\tau_M}{\tau_{\Pi}} \right)$$

Построить график зависимости производительности весов и питателя от массы взвешиваемой порции топлива.

**Ответить письменно на вопросы:**

1. Какие весы по своему назначению делятся на вагонные и конвейерные?
2. Где устанавливаются автоматические вагонные весы?

#### Подгруппа № 4

**Задача.** Определить производительность автоматических порционных весов ( $Q_B$ ) и питателя топлива ( $Q_{\Pi}$ ), если известно:  $m = 15$  кг;  $\tau_{\Pi} = 2,5$ , сек;  $\tau_M = 0,93$ , сек.

$$Q_B = \frac{m}{\tau_B}, \text{ кг/с}$$

где  $m$  – масса взвешиваемой порции, кг;

$\tau_B$  – рабочий цикл весов, сек.

$$\tau_B = \tau_{\Pi} + \tau_M$$

где  $\tau_{\Pi}$  – рабочий цикл питателя топлива, сек;

$\tau_M$  – рабочий цикл механизмов и автоматики, сек.

$$Q_{\Pi} = Q_B \cdot \left( 1 + \frac{\tau_M}{\tau_{\Pi}} \right)$$

Построить график зависимости производительности весов и питателя от массы взвешиваемой порции топлива.

#### **Ответить письменно на вопросы:**

1. Какие счетчики работают по принципу измерения средней скорости движущегося потока?
2. На чем основан принцип действия счетчиков количества газов?

### Подгруппа № 5

**Задача.** Определить производительность автоматических порционных весов ( $Q_B$ ) и питателя топлива ( $Q_{\Pi}$ ), если известно:  $m = 16$  кг;  $\tau_{\Pi} = 3$ , сек;  $\tau_M = 0,94$ , сек.

$$Q_B = \frac{m}{\tau_B}, \text{ кг/с}$$

где  $m$  – масса взвешиваемой порции, кг;

$\tau_B$  – рабочий цикл весов, сек.

$$\tau_B = \tau_{\Pi} + \tau_M$$

где  $\tau_{\Pi}$  – рабочий цикл питателя топлива, сек;

$\tau_M$  – рабочий цикл механизмов и автоматики, сек.

$$Q_{\Pi} = Q_B \cdot \left( 1 + \frac{\tau_M}{\tau_{\Pi}} \right)$$

Построить график зависимости производительности весов и питателя от массы взвешиваемой порции топлива.

#### **Ответить письменно на вопросы:**

1. Какие весы механизмируют не только процесс взвешивания, но и суммируют результаты измерений при помощи счетного устройства?
2. Какие счетчики работают по принципу измерения средней скорости движущегося потока?

### Подгруппа № 6

**Задача.** Определить производительность автоматических порционных весов ( $Q_B$ ) и питателя топлива ( $Q_{\Pi}$ ), если известно:  $m = 17$  кг;  $\tau_{\Pi} = 3,5$ , сек;  $\tau_M = 0,95$ , сек.

$$Q_B = \frac{m}{\tau_B}, \text{ кг/с}$$

где  $m$  – масса взвешиваемой порции, кг;  
 $\tau_B$  – рабочий цикл весов, сек.

$$\tau_B = \tau_{\Pi} + \tau_M$$

где  $\tau_{\Pi}$  – рабочий цикл питателя топлива, сек;  
 $\tau_M$  – рабочий цикл механизмов и автоматики, сек.

$$Q_{\Pi} = Q_B \cdot \left(1 + \frac{\tau_M}{\tau_{\Pi}}\right)$$

Построить график зависимости производительности весов и питателя от массы взвешиваемой порции топлива.

**Ответить письменно на вопросы:**

1. Где устанавливаются автоматические вагонные весы?
2. Виды конвейерных весов.

### Подгруппа № 7

**Задача.** Определить производительность автоматических порционных весов ( $Q_B$ ) и питателя топлива ( $Q_{\Pi}$ ), если известно:  $m = 18$  кг;  $\tau_{\Pi} = 4,5$ , сек;  $\tau_M = 0,96$ , сек.

$$Q_B = \frac{m}{\tau_B}, \text{ кг/с}$$

где  $m$  – масса взвешиваемой порции, кг;

$\tau_B$  – рабочий цикл весов, сек.

$$\tau_B = \tau_{\Pi} + \tau_M$$

где  $\tau_{\Pi}$  – рабочий цикл питателя топлива, сек;

$\tau_M$  – рабочий цикл механизмов и автоматики, сек.

$$Q_{\Pi} = Q_B \cdot \left(1 + \frac{\tau_M}{\tau_{\Pi}}\right)$$

Построить график зависимости производительности весов и питателя от массы взвешиваемой порции топлива.

#### **Ответить письменно на вопросы:**

1. Какие счетчики работают по принципу измерения средней скорости движущегося потока?
2. На чем основан принцип действия объемных счетчиков?

### **Вопросы для защиты практической работы:**

1. Что называют расходом вещества?
2. Какие единицы расхода вы знаете?
3. Приведите классификацию весов по назначению.
4. Какие требования предъявляются к приборам для измерения расхода и количества?
5. Приведите классификацию счетчиков.
6. Каким методом измеряют количество газа?
7. По какой формуле определяется средняя скорость движущегося потока?
8. По какой формуле производится пересчет объема сухого газа к объему при условии: температура  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $293,15\text{ }^{\circ}\text{K}$ ), давление  $760\text{ мм рт.ст.}$  ( $101\ 325\text{ Па}$ ), влажность  $0$ .

## Практическая работа № 6 «Расходомеры»

**Цель работы:** Изучить устройство и принцип действия расходомеров, уметь производить расчет расхода по показаниям прибора.

### 1. Теоретическое введение

#### 1.1 Назначение приборов для измерения расхода

Расходомеры необходимы, прежде всего, для управления производством. Без них нельзя обеспечить оптимальный режим технологических процессов в энергетике, металлургии, в химической, нефтяной, целлюлозно-бумажной и многих других отраслях промышленности. Эти приборы требуются также для автоматизации производства и достижения при этом максимальной его эффективности.

#### 1.2 Исходная терминология и единицы измерения

Расход – это количество вещества, пропускающее через данное сечение в единицу времени.

Прибор, измеряющий расход вещества, называется расходомером. Прибор, который одновременно измеряет расход и количество вещества, называется расходомером со счетчиком. Устройство, непосредственно воспринимающее измеряемый расход (например, диафрагма, сопло, напорная трубка) и преобразующее его в другую величину, например, в перепад давления), которая удобна для измерения, называется *преобразователем расхода*.

Количество вещества измеряется в единицах массы (килограммах, тоннах, граммах). Соответственно расход измеряют в единицах массы, деленных на единицу времени (килограмм в секунду, килограмм в час и т.д.).

#### 1.3 Современные требования к приборам для измерения расхода и количества

В настоящее время к счетчикам предъявляется много требований, удовлетворить которые совместно достаточно сложно и не всегда возможно. Имеются две группы требований.

К первой группе относятся индивидуальные требования, предъявляемые к приборам для измерения количества: высокая точность, надежность, независимость результатов измерения от изменения плотности вещества, быстродействие и значительный диапазон измерения.



Ко второй группе относятся требования, которые характеризуют всю группу счетчиков: необходимость измерения расхода и количества очень разнообразной номенклатуры вещества и отличающимися свойствами, различных значений расхода от очень малых до чрезвычайно больших и при различных давлениях и температурах.

#### **1.4 Классификация расходомеров**

Существующие расходомеры можно условно разделить на приведенные ниже группы.

1. Приборы, основанные на гидромеханических методах:
  - переменного перепада давления;
  - переменного уровня;
  - обтекания;
  - вихревые;
  - парциальные.
2. Приборы, с непрерывно движущимся телом:
  - тахометрические;
  - силовые (и в том числе вибрационные);
  - с автоколеблющимся телом.
3. Приборы, основанные на различных физических явлениях.
4. Приборы, основанные на особых методах:
  - меточные;
  - корреляционные;
  - концентрационные.

Из числа приборов первой группы следует отметить широко распространенные расходомеры переменного перепада давления с сужающими устройствами и вихревые расходомеры.

Во вторую группу входят многочисленные турбинные, шариковые и камерные (роторные, с овальными шестернями и другие) счетчики количества и частично расходомеры. Приборы силовые и с автоколеблющимся телом пока еще имеют ограниченное применение.

Из приборов третьей группы наибольшее распространение получили электромагнитные. Реже встречаются тепловые и акустические приборы. Расходомеры оптические, ядерно-магнитные и ионизационные применяются сравнительно редко.

Меточные и концентрационные расходомеры, относящиеся к четвертой группе, служат для разовых измерений, например при проверке промышленных расходомеров на месте их установки. Корреляционные приборы перспективны для измерения расхода двухфазных веществ.

В промышленности применяются главным образом, расходомеры с сужающимися устройствами. Для их градуировки и поверки не требуются образцовые расходомерные установки, которые необходимы почти для всех остальных.

## Расчетные задания

*Задание 1.* Определить массовый расход горячей воды в трубопроводе, если известно:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d_{\text{вн}}, \text{мм}$	410	400	390	380	370	360	350	340	330	320
$\rho_{\text{в}}, \text{кг/м}^3$	915	916	917	918	918	920	921	922	923	924
$v, \text{м/с}$	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4

*Задание 2.* Для определения расхода бензина, подаваемого по трубе, установлено сопло и соединены пьезометры. Определить расход бензина по трубе, если разность уровней в пьезометрах 1 метр. Коэффициент расхода сопла равен 1.

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$D_{\text{тр}}, \text{см}$	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
$d_{\text{с}}, \text{мм}$	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

*Задание 3.* Индивидуальное.

### Подгруппа № 1

*Задание 1.* По трубе диаметром 100 мм движется поток жидкости со средней скоростью 1,5 м/с. Определить массовый расход жидкости если ее плотность 990 кг/м<sup>3</sup>.

*Задание 2.* Определить расход дымовых газов через трубопровод, если перепад на напорной трубке  $\Delta P = 50 \text{ кгс/м}^2$ . Диаметр трубопровода  $D = 200 \text{ мм}$ , коэффициент  $K_T = 0,98$ , плотность 0,405 кг/м<sup>3</sup>. Трубка установленная на расстоянии 24 мм от стенки трубопровода. Критическая вязкость газов  $\nu = 93,6 \cdot 10^{-6}$ .

Ход решения:

1. Определить скорость потока на месте установки трубки по формуле:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{K_T \cdot \rho}}, \text{ м/с}$$

2. Определить число Рейнольдса.

3. Учесть, что местная скорость равна средней скорости по сечению, т.е.

$$v_{\text{с}} = v.$$

#### 4. Определить объемный расход газа.

*Задание 3.* Ответить письменно на вопросы.

1. Какой прибор называется расходомером?
2. Виды расходомеров.

#### Подгруппа № 2

*Задание 1.* Расход воды в трубопровод диаметром  $D = 80$  мм измеряется диафрагмой с отверстием диаметром  $d = 58$  мм. Температура воды  $150$  °С, давление воды 2 МПа, перепад давления на диафрагме 0,04 МПа. Определить, как изменится действительное значение расхода, если температура воды станет  $20$  °С. Диаметр трубопровода, коэффициент расхода и перепад давления на диафрагме считаем неизвестными  $K_t = 1,0023$ .

Ход решения:

1. Общее уравнение массового расхода для несжимаемой жидкости:

$$Q_M = \alpha \cdot F_0 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P \cdot \rho}$$

По условию задачи все параметры, входящие в уравнение, остались постоянными, кроме  $F_0$  и  $\rho$ .

При  $t_1 = 20$  °С расход  $Q_1$  равен:

$$Q_1 = \alpha \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P \cdot \rho_1}$$

При  $t_2 = 150$  °С расход  $Q_2$  равен:

$$Q_2 = \alpha \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P \cdot \rho_2}$$

Получаем

$$Q_1 = Q_2 \cdot \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}} = Q_2 \cdot \frac{1}{(K'_t)^2} \cdot \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}}$$

Относительная погрешность измерения

$$\delta = 1 - \frac{1}{(K'_t)^2} \cdot \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}}$$

Определить  $\rho_1$  и  $\rho_2$  для воды при  $P = 2$  МПа;  $t_1 = 20$  °С и  $t_2 = 150$  °С.

*Задание 2.* По трубе диаметром 120 мм движется поток жидкости со средней скоростью 3 м/с. Определить массовый расход жидкости если ее плотность  $980$  кг/м<sup>3</sup>.

*Задание 3.* Ответить письменно на вопросы.

1. Какое устройство называется преобразователем расхода?
2. Что называется расходом? Его виды.

### **Подгруппа № 3**

*Задание 1.* В трубопроводе диаметром 100 мм протекает вода, расход которой меняется от 0 до 300 м<sup>3</sup>/ч. Для измерения расхода установлены ультразвуковые излучатель и приемник. Расстояние между излучателем и приемником 300 мм. Определить время прохождения ультразвуковых колебаний при распространении их «по потоку» и «против потока». Скорость распространения звуковых колебаний в воде 1500 м/с.

Ход решения:

1. Определяем максимальную скорость воды

$$v_{\max} = \frac{Q_{\max} \cdot 4}{\pi \cdot D^2 \cdot 3600}; \text{ м/с}$$

2. Определяем время прохождения звуковых колебаний «по потоку»

$$\tau_1 = \frac{L}{c + v_{\max}}; \text{ с}$$

где  $L$  – расстояние между излучателем и приемником, м;  
 $c$  – скорость распространения звуковых колебаний в воде, м/с.

3. Определяем время прохождения звуковых колебаний «против потока»

$$\tau_2 = \frac{L}{c - v_{\max}}; \text{ с}$$

4. Определяем время прохождения звуковых колебаний при нулевой скорости воды

$$\tau_0 = \frac{L}{c}; \text{ с}$$

*Задание 2.* Определить абсолютную температуру газа в рабочем состоянии, если при давлении 490 500 Па он изменяет свой объем с 1,3 м<sup>3</sup> до 4,7 м<sup>3</sup>.

*Задание 3.* Ответить письменно на вопросы.

1. Какие единицы измерения приняты для расхода в системе СИ и как они связаны между собой?
2. Для чего пригодны расходомеры с сужающим устройством?

#### **Подгруппа № 4**

*Задание 1.* По трубопроводу протекает вода при давлении 100 кгс/см<sup>2</sup> и температуре 200 °С. предельный расход воды  $Q_{пр} = 100$  т/ч. Диаметр трубопровода при температуре 20 °С равен  $D_{20} = 200$  мм. В трубопроводе установлены диафрагма и сопло. Относительные площади их таковы, что при указанном расходе перепад давления на обоих сужающих устройствах одинаков и равен 400 кгс/см<sup>2</sup>. Имеет ли в этом случае какое-либо из указанных сужающих устройств преимущество (на трубопроводе перед сужающими устройствами установлены колена)?

Ход решения:

1. Количественная оценка преимущества какого-либо сужающего устройства может производиться по потере давления и длине прямых участков. Определяем эти параметры для сопла и диафрагмы

$$m_{\alpha} = \frac{Q_{пр}}{0,01252 \cdot D^2 \cdot \sqrt{\rho \cdot \Delta P}};$$

где  $Q_{пр}$  – предельный расход воды, т/ч;

$D$  – диаметр трубопровода при температуре 20 °С, мм;

### **Вопросы для защиты практической работы:**

1. Приведите классификацию расходомеров.
2. Принцип действия и устройство расходомеров переменного перепада давления.
3. Принцип действия и устройство расходомеров скоростного напора.
4. Принцип действия и устройство расходомеров переменного уровня.
5. Принцип действия и устройство расходомеров постоянного перепада давления.
6. Какие единицы измерения приняты для расхода в системе СИ и как они связаны между собой?

## Практическая работа № 7 «Уровнемеры»

**Цель работы:** изучить устройство и принцип действия уровнемеров, производить расчет уровня по показаниям приборов.

### 1. Теоретическое введение

Целью измерения уровня жидкостей является определение количества вещества в ёмкости и контроль за положением уровня в производственном аппарате при осуществлении технологического процесса.

По характеру работы уровнемеры могут быть непрерывного и прерывистого (релейного) действия. Релейные уровнемеры срабатывают при достижении определенного уровня; они используются для сигнализации и поэтому называются сигнализаторами уровня.

Наиболее распространенными приборами для измерения уровня жидкости являются указательные стекла, поплавковые, гидростатические, электрические, изотопные и ультразвуковые.

**Указательные стекла.** Работа указательных стекол для жидкостей основана на принципе сообщающихся сосудов. Указательное стекло соединяется с сосудом нижним концом (для открытых сосудов) или обоими концами (для сосудов с избыточным давлением или разряжением). Наблюдая за положением уровня жидкости в стеклянной трубке, можно судить об изменении уровня в сосуде. Указательные стекла снабжаются вентилями или кранами для отключения их от сосуда и для продувки системы. В арматуру указательных стекол сосудов, работающих под давлением, обычно вводятся предохранительные устройства, автоматически закрывающие каналы в головках при случайной поломке стекла.

**Поплавковые уровнемеры.** В поплавковом уровнемере за уровнем жидкости следит поплавок, перемещение которого передается на показывающее устройство или преобразователь для преобразования перемещения или силы в выходной сигнал.

**Гидростатические уровнемеры.** В этих приборах измерение уровня жидкости постоянной плотности сводится к изменению давления, создаваемое столбом жидкости.

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (1)$$

где  $P$  – давление столба жидкости, Па;  
 $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  
 $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  
 $h$  – высота столба жидкости, м.

**Электрические уровнемеры.** В электрических уровнемерах положение уровня жидкости преобразуется в какой-либо электрический сигнал. Из электрических уровнемеров наибольшее распространение получили емкостные и омические. В емкостных уровнемерах используются диэлектрические свойства контролируемых сред; в омических – свойство контролируемой среды проводить электрический ток.

**Емкостной уровнемер.** Емкостной преобразователь является электрическим конденсатором, емкость которого изменяется в зависимости от изменения уровня жидкости.

**Омические приборы** используются главным образом для сигнализации и поддержания в заданных пределах уровня электропроводимых жидкостей (кислот, щелочей). Принцип действия омических сигнализаторов основан на замыкании электрической цепи источника питания через контролируемую среду, представляемую собой участок электрической цепи, обладающей определенным омическим сопротивлением.

**Радиоизотопные уровнемеры.** Положение уровня в закрытых емкостях можно контролировать при помощи проникающих  $\gamma$  – излучений. Измерение уровня основано на поглощении  $\gamma$  – лучей при их прохождении через слой вещества.

**Ультразвуковые уровнемеры** позволяют измерять уровень при отсутствии контакта с измеряемой средой и в труднодоступных местах. В ультразвуковых уровнемерах обычно используется принцип отражения звуковых волн от границы раздела жидкость – газ (воздух).



## Расчетные задания

**Задание 1.** Определить абсолютное, избыточное и гидростатическое давления открытого резервуара чистой воды, если уровнемер показывает глубину резервуара:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Глубина	246 см	134 см	357 см	579 см	782 см	2357 мм	7935 мм	9482 мм	7389 мм	10498 мм

**Задание 2.** Определить избыточное гидростатическое давление в центре крышки нижнего лаза бака щелочи, если давление в газовом пространстве бака равно атмосферному:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Глубина бака	2468 мм	4789 мм	8920 мм	3691 мм	9026 мм	468 см	248 см	952 см	381 см	720 см
$\rho_{щ}$ , кг/м <sup>3</sup>	1060	1050	1055	1045	1065	1070	1040	1075	1080	1085

**Задание 3.** Индивидуальное.

### Подгруппа № 1

**Задание 1.** Уровень воды в барабане парогенератора измеряется водомерным стеклом (см. рисунок 1). Давление пара в барабане 10 МПа, вода в барабане находится при температуре насыщения. Действительное значение уровня  $H = 0,5$  м. Определите уровень в водомерном стекле  $h$ , если температура воды в водомерном стекле 150 °С.

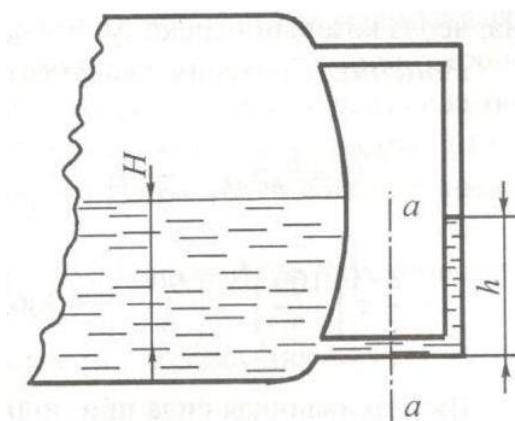


Рисунок 1 – Измерение уровня в барабане парогенератора водомерным стеклом

*Задание 2.* Ответить письменно на вопросы.

1. Приведите классификацию уровнемеров?
2. Устройство гидростатических уровнемеров.

### **Подгруппа № 2**

*Задание 1.* Уровень воды в барабане парогенератора измеряется водомерным стеклом (см. рисунок 1). Давление пара в барабане 10 МПа, вода в барабане находится при температуре насыщения. Действительное значение уровня  $H = 0,5$  м. Определите уровень в водомерном стекле  $h$ , если температура воды в водомерном стекле  $300^\circ\text{C}$ .

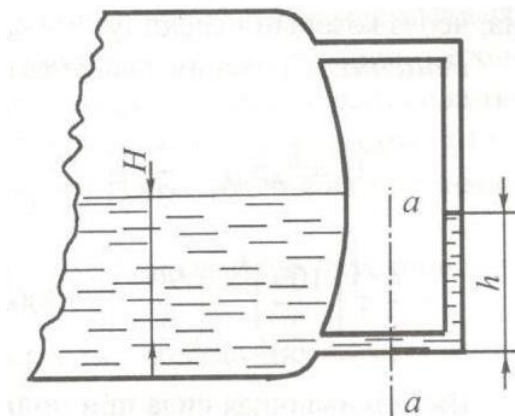


Рисунок 1 – Измерение уровня в барабане парогенератора водомерным стеклом

*Задание 2.* Ответить письменно на вопросы.

1. Опишите принцип действия поплавковых уровнемеров.
2. Какое давление называется избыточным? Каким прибором оно измеряется? Запишите формулу.

### Подгруппа № 3

*Задание 1.* Уровень воды в барабане парогенератора измеряется водомерным стеклом (см. рисунок 1). Давление пара в барабане 10 МПа, вода в барабане находится при температуре насыщения. Действительное значение уровня  $H = 0,5$  м. Определите уровень в водомерном стекле  $h$ , если температура воды в водомерном стекле  $250^{\circ}\text{C}$ .

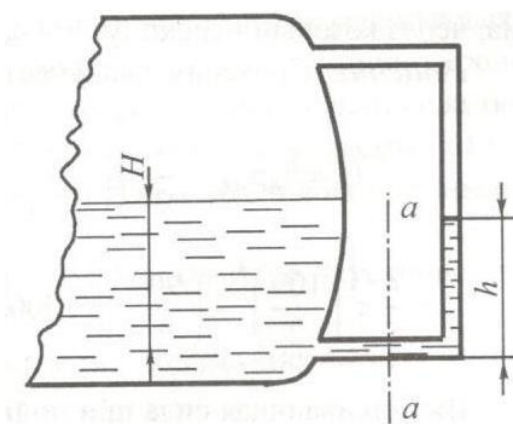


Рисунок 1 – Измерение уровня в барабане парогенератора водомерным стеклом

*Задание 2.* Ответить письменно на вопросы.

1. Опишите принцип действия радиоизотопных уровнемеров.
2. Единицы измерения уровня.

#### Подгруппа № 4

*Задание 1.* Уровень воды в барабане парогенератора измеряется водомерным стеклом (см. рисунок 1). Давление пара в барабане 10 МПа, вода в барабане находится при температуре насыщения. Действительное значение уровня  $H = 0,5$  м. Определите уровень в водомерном стекле  $h$ , если температура воды в водомерном стекле  $350$  °С.

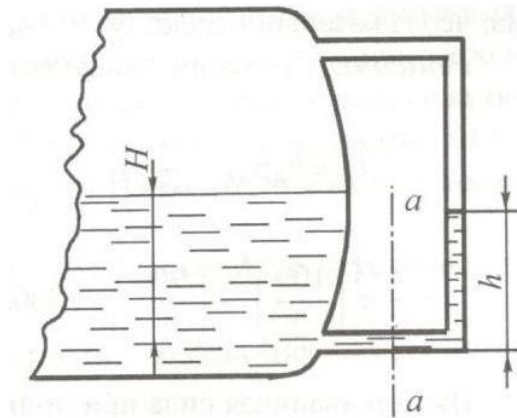


Рисунок 1 – Измерение уровня в барабане парогенератора водомерным стеклом

*Задание 2.* Ответить письменно на вопросы.

1. Опишите принцип действия электрических уровнемеров.
2. Запишите формулу определения абсолютного давления. Единицы измерения.

### **Вопросы для защиты практической работы:**

1. Принцип действия гидростатических уровнемеров.
2. Устройство гидростатических уровнемеров.
3. Принцип действия поплавковых уровнемеров.
4. Устройство поплавковых уровнемеров.
5. Принцип действия ультразвуковых уровнемеров.
6. Устройство ультразвуковых уровнемеров.
7. Принцип действия электрических уровнемеров.
8. Устройство электрических уровнемеров.
9. Принцип действия радиоизотопных уровнемеров.
10. Устройство радиоизотопных уровнемеров.

## Практическая работа № 8 «Анализ дымовых газов»

**Цель работы:** изучить устройство и принцип действия газоанализаторов, уметь производить расчет смеси газов по показаниям приборов.

### 1. Теоретическое введение

#### 1.1 Контроль состава дымовых газов

На экономичность работы котлоагрегата основное влияние оказывают потери тепла из-за химической неполноты сгорания топлива и с уходящими газами. Размеры этих потерь зависят от расхода воздуха, подводимого в топку котлоагрегата.

Уменьшение подачи воздуха приводит к возрастанию потери от химической неполноты сгорания вследствие недостатка кислорода. Каждое топливо для своего горения нуждается в определенном количестве воздуха, причем это количество тем больше, чем выше содержание в топливе горючих частей – углерода и водорода. При полном сгорании углерода образуется двуокись углерода, а при сгорании водорода – водяной пар. Неполное сгорание углерода связано с образованием окиси углерода и уменьшением выделения тепла почти в 3 раза.

Увеличение расхода подводимого в топку воздуха вызывает возрастание потери с уходящими газами, т.к. на нагрев добавочного воздуха бесполезно затрачивается часть тепла. Кроме того, чрезмерная подача воздуха приводит к понижению температуры в топке, что связано с ухудшением условий теплообмена.

Для каждого частного случая, характеризуемого типом котлоагрегата, его нагрузкой и родом сжигаемого топлива, существует оптимальное соотношение между расходами топлива и воздуха, потребного для горения. При этом расход воздуха суммарная потеря тепла от химической неполноты сгорания и с уходящими газами составляет наименьшую величину.

Поддержание оптимального режима работы топки котлоагрегата требует непрерывного контроля количественного состава дымовых газов, причем наиболее важным является определение содержания в них свободного (остаточного) кислорода, характеризующего достигнутое соотношение между расходами топлива и воздуха.

Приборы для количественного анализа газов называются газоанализаторами. Для определения состава дымовых газов в прибор подается проба газа, отобранная из газохода котлоагрегата. Содержание в ней отдельных компонентов измеряется газоанализатором в

объемных единицах, выраженных в процентах общего объема газовой смеси.

При полном сгорании топлива дымовые газы содержат азот, кислород, двуокись углерода, водяной пар и в случае содержания в топливе горючей серы – двуокись серы. При неполном сгорании в дымовых газах дополнительно появляются горючие газы: окись углерода, водород и метан.

### **1.2 Классификация газоанализаторов**

Существуют автоматические и переносные газоанализаторы. Первые служат для непрерывного анализа газов в промышленных установках, а вторые – для контрольных и лабораторных измерений.

Автоматические газоанализаторы выполняются показывающими и самопишущими и имеют дистанционную передачу показаний на щиты управления.

Переносные газоанализаторы благодаря большой точности измерения широко используются при испытаниях и наладке работы котлоагрегатов, а также при поверке автоматических газоанализаторов.

По принципу действия применяемые на тепловых электростанциях газоанализаторы делятся на термомагнитные, электрохимические, химические и хроматографические.

Шкалы газоанализаторов градуируются в процентах объемного содержания отдельных компонентов в исследуемой газовой смеси.

### **1.3 Автоматические газоанализаторы**

На электростанциях для определения объемного состава дымовых газов используются автоматические термомагнитные и электрохимические газоанализаторы. Первые получили в настоящее время большое распространение.

Термомагнитные газоанализаторы служат для определения содержания в дымовых газах кислорода, магнитные свойства которого отличаются от магнитных свойств других газов. В магнитном поле намагничивание кислорода совпадает по направлению с этим полем, поэтому кислород является газом, обладающим положительными магнитными (парамагнитными) свойствами. Большинство же остальных газов имеет отрицательные магнитные (диамагнитные) свойства, т.к. их намагничивание противоположно направлению магнитного поля.

Электрохимические газоанализаторы, имеющие простое устройство, не требуют отбора пробы дымовых газов и ее предварительной подготовки (очистки и охлаждения), т.к. их чувствительные элемент устанавливается непосредственно в газоходе котлоагрегата. Отсутствие устройств для транспортировки и подготовки пробы газа значительно понижает инерционность прибора

и исключает возможные искажения результатов измерений при воздушной неплотности системы.

Принцип действия электрохимического газоанализатора основан на использовании свойств высокотемпературной гальванической ячейки, обладающей кислородоионной проводимостью и являющейся чувствительным элементом прибора. Ячейка состоит из твердого электролита, в качестве которого применяется двуокись циркония, стабилизированная примесью окиси иттрия и двух закрепленных на электролите с противоположных сторон платиновых электродов. Один электрод (отрицательный) омывается атмосферным воздухом, выполняющим роль сравнительного газа, имеющего практически постоянное и известное парциальное давление содержащегося в нем кислорода, а второй электрод (положительный) – потоком дымовых газов с парциальным давлением находящегося в них кислорода.

#### **1.4 Переносные газоанализаторы**

По принципу действия переносные (контрольные и лабораторные) газоанализаторы бывают химические и хроматографические. Большое распространение для анализа дымовых газов получили химические газоанализаторы как достаточно точные, сравнительно простые и надежные в работе приборы, а также более совершенные хроматографические газоанализаторы.

Химические газоанализаторы по своему назначению разделяются на газоанализаторы для частичного и общего анализа газа. Из них особенно широко используются газоанализаторы для частичного анализа.

Химические газоанализаторы производят определение процентного содержания отдельных компонентов газовой смеси путем избирательного поглощения (абсорбции) их соответствующими химическими реактивами. Уменьшение при этом объема газовой смеси при постоянных давлении и температуре характеризует содержание искомого компонента.

Хроматографические газоанализаторы. Газовая хроматография является весьма перспективным физико-химическим методом разделения газовых смесей на составляющие их компоненты.

Хроматографические газоанализаторы, созданные по этому принципу, служат для определения содержания в дымовых газах как горючих компонентов, характеризующих химическую неполноту сгорания топлива, так и негорючих компонентов. Действие этих приборов основано на адсорбционном способе разделения пробы газовой смеси при пропускании ее совместно с потоком вспомогательного газа (газа-носителя) через слой пористого вещества (адсорбента) и последующем поочередном измерении содержания каждого выделившегося компонента электрическим методом.



## Расчетные задания

*Задание 1.* Определить массовый состав газовой смеси, состоящей из углекислого газа и азота, если известно:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{\text{CO}_2}$ , кПа	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
$P_{\text{см}}$ , кПа	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390

*Задание 2.* Смесь газов состоит из водорода и окиси углерода. Определить удельный объем и газовую постоянную смеси при нормальных условиях, если:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$m_{\text{H}_2}$ , %	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66

*Задание 3.* Индивидуальное.

Каждой подгруппе необходимо выполнить следующее:

1. Составить 5 вопросов по данной тематике.
2. Придумать задачу по данной тематике.
3. Составить тест (10 вопросов).
4. Обменяться с другой подгруппой этими заданиями и решить их.

### Вопросы для защиты практической работы:

1. Какие приборы называются газоанализаторами?
2. Приведите классификацию газоанализаторов.
3. Приведите характеристику автоматических газоанализаторов.
4. Приведите характеристику переносных газоанализаторов.
5. Принцип действия и устройство адсорбционного газоанализатора.
6. Принцип действия и устройство газоанализатора ультрафиолетового поглощения.
7. Принцип действия и устройство термокондуктометрического газоанализатора.
8. Принцип действия и устройство магнитных газоанализаторов.
9. Принцип действия и устройство электрохимических газоанализаторов.

## **Практическая работа № 9**

### **«Определение качества воды и пара»**

**Цель работы:** изучить устройство и принцип действия кондуктометров, уметь производить расчет воды и пара по показаниям приборов.

#### **1. Теоретическое введение**

##### **1.1 Методы контроля качества воды и пара**

Существенное влияние на работу тепловых электростанций оказывает качество применяемых рабочих веществ – питательной и добавочной воды химически обессоленной воды, конденсата турбин и пара. Ухудшение качества воды и пара зависит от содержания в них минеральных примесей (солесодержания), наличия в воде растворенного кислорода и соединений натрия, солесодержания в воде и в паре водорода и кремниевой кислоты, жесткости воды, определяемой солями кальция и магния, а также от величины концентрации водородных ионов (величины рН), характеризующей кислотные и щелочные свойства воды.

Низкое качество питательной воды вызывает в котлоагрегатах накипеобразование, коррозию металла и выпадение шлама. Производимый котлоагрегатами насыщенный пар, несмотря на наличие сепарационных устройств, всегда содержит некоторое количество влаги. Влажность пара ухудшает его качество, т.к. вместе с водой уносятся содержащиеся в ней примеси, отложение которых на отдельных участках парового тракта вызывает пережог труб пароперегревателей, заедание регулирующих клапанов турбин, понижение мощности и экономичности работы турбогенераторов вследствие заноса лопаток турбин и т.п.

Допускаемое содержание питательной воде и паре различных примесей, обусловленное нормами, содержащимися в Правилах технической эксплуатации электрических станций и сетей, зависит как от типа котлоагрегата (прямоточный или барабанный), так и от давления в нем пара (среднее, высокое, сверхвысокое или сверхкритическое).

Для обеспечения постоянного химического контроля качества воды и пара на современных тепловых электростанциях внедряется ряд промышленных автоматических измерительных приборов. К числу их относятся: кондуктометры (солемеры), кислородомеры, определители натрия, водородомеры, кремнемеры, жесткомеры и рН-метры. Измерительные преобразователи этих приборов имеют унифицированный выходной сигнал постоянного тока 0-5 мА и работают в комплекте со вторичными приборами – автоматическими

показывающими и самопишущими миллиамперметрами, снабженными сигнализирующим устройством.

Отбор представительных проб воды и пара из трубопроводов в характерных точках пароводяного тракта для определения содержания тех или иных примесей производится с помощью пробоотборных зондов. Применяются два вида пробоотборных зондов – однососковый и прямой, устанавливаемых посредством сварки в прямых участках трубопровода.

## 1.2 Кондуктометры

Автоматическое определение солесодержания питательной и добавочной воды, конденсата турбин и пара производится кондуктометрическим методом, т.е. путем измерения их удельной электропроводимости промышленными кондуктометрами (солемерами).

Электропроводимостью раствора электролита называется величина, обратная его электрическому сопротивлению. Соответственно этому удельная электропроводимость  $\chi$  есть величина, обратная удельному сопротивлению  $\rho$ , Ом·м, раствора, определяется по формуле:

$$\rho = R \cdot \frac{F}{l}, \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (19)$$

где  $R$  – электрическое сопротивление раствора, Ом;  
 $F$  – поперечное сечение столба раствора, м<sup>2</sup>;  
 $l$  – длина столба раствора, м.

Тогда удельная электропроводимость раствора, См/м:

$$\chi = \frac{1}{\rho} = \frac{l}{R \cdot F}, \text{ См/м} \quad (20)$$

а его электропроводимость  $1/R$ , См:

$$\frac{1}{R} = \frac{F \cdot \chi}{l}, \text{ См} \quad (21)$$

Чувствительным элементом кондуктометра является электролитическая измерительная ячейка, состоящая из контактных электродов и площадью  $F$  погруженных в сосуд с измеряемым раствором на расстоянии  $l$  друг от друга и питаемых от постороннего источника тока. Во избежание поляризации электродов электролитическая ячейка обычно питается переменным током.

### 1.3 Кислородомеры

Для автоматического определения содержания кислорода, растворенного в питательной воде и конденсате водяного тракта тепловых электростанций (за конденсатным насосом турбины или блочной обессоливающей установки, за подогревателем низкого давления и его сливным насосом, за деаэратором питательной воды и пр.), применяются промышленные кислородомеры.

На электростанциях ранее применялся термокондуктометрический кислородомер с диапазоном показаний 0 – 500 мг/кг кислорода. Однако для современных электростанций, на которых к качеству питательной воды и конденсата предъявляются высокие требования, этот кислородомер из-за большого диапазона шкалы является непригодным. Для этих условий необходимы промышленные кислородомеры с диапазоном показаний 0 – 30 и 0 – 100 мг/кг кислорода, обладающие достаточной точностью и чувствительностью.

## Расчетные задания

*Задание 1.* Определите электрическое сопротивление электролита и удельную электропроводимость раствора, если:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R, Ом	21	22	23	24	25	31	32	33	34	35
F, м <sup>2</sup>	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,12
l, см	45	4	43	42	41	36	37	38	39	40

*Задание 2.* Определите концентрацию кислорода в воздухе, если:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V <sub>0</sub> , м <sup>3</sup>	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
ΔV, м <sup>3</sup>	14	3	2	11	15	16	7	18	19	20

*Задание 3.* Индивидуальное.

- 1) Каждой подгруппе необходимо выполнить следующее:
- 2) Составить 5 вопросов по данной тематике.
- 3) Придумать задачу по данной тематике.
- 4) Составить тест (10 вопросов).
- 5) Обменяться с другой подгруппой этими заданиями и решить их.

### Вопросы для защиты практической работы:

- 1) Какие существуют методы контроля качества воды и пара?
- 2) Какие приборы применяются для определения качества воды и пара?
- 3) Принцип действия и устройство кондуктометров.
- 4) Принцип действия и устройство кислородометров.
- 5) В чем заключается объемный метод анализа газа?

## **Практическая работа № 10**

### **«Вычисление количества тепловой энергии отпущенной с паром и горячей водой»**

**Цель работы:** научиться вычислять количество тепловой энергии отпущенной с паром и горячей водой.

#### **1. Теоретическое введение**

*Теплосчетчик* – устройство, предназначенное для измерений и хранения значений количества отпущенной или потребленной тепловой энергии, теплоносителя и его параметров в системах теплоснабжения при учетно-расчетных операциях.

##### **1.1 Область применения**

- предприятия тепловых сетей;
- тепловые пункты;
- тепловые сети объектов промышленного и бытового назначения.

##### **1.2 Классификация теплосчетчиков**

По принципу действия теплосчетчики делятся: электромагнитные, тахометрические, ультразвуковые и вихревые.

*Электромагнитные.* Принцип действия электромагнитных расходомеров основан на способности измеряемой жидкости возбуждать электрический ток при ее движении в магнитном поле. Т.е. в электромагнитных теплосчетчиках используется явление электромагнитной индукции, что позволяет связать среднюю скорость, а следовательно и объемный расход электропроводной жидкости с напряженностью поля в нем и разностью потенциалов, возникающих на диаметрально расположенных электродах.

Электромагнитные теплосчетчики производят вычисление тепловой мощности и тепловой энергии на основе данных об объемном расходе и объеме теплоносителя, температур на прямом и обратном трубопроводе с учетом измерения теплоемкости теплоносителя при изменении разности температур на входе и выходе. Поскольку при этом возникают малые величины тока, то электромагнитные теплосчетчики очень чувствительны к качеству монтажа, условиям эксплуатации.

Недостаточно качественное соединение проводов, появление дополнительных сопротивлений в соединениях, наличие примесей в воде, особенно соединений железа, резко увеличивают погрешности показаний приборов.

**Тахометрические.** Тахометрические теплосчетчики (крыльчатые, турбинные, винтовые) наиболее простые приборы. Принцип действия механических теплосчетчиков основан на преобразовании поступательного движения потока жидкости во вращательное движение измерительной части. Механические теплосчетчики состоят из тепловычислителя и механических роторных или крыльчатых водосчетчиков. Это пока наиболее дешевые теплосчетчики, но к их стоимости надо обязательно добавлять стоимость специальных фильтров, которые устанавливаются перед каждым механическим теплосчетчиком. В результате, цена таких комплектов на 10 – 15 % ниже теплосчетчиков других типов, но только для условных диаметров трубопровода не более 32 мм. Для трубопроводов большого диаметра цена механических и других теплосчетчиков практически равна или даже выше.

К недостаткам механических теплосчетчиков относится невозможность их использования при повышенной жесткости воды, присутствии в ней мелких частиц окалина, ржавчины и накипи, которые забивают фильтры и механические расходомеры. По этим причинам практически по всей России установка механических расходомеров разрешена только в квартирах, небольших частных домах и т.п. Кроме того, механические расходомеры создают наибольшие потери давления воды по сравнению с расходомерами других типов.

**Ультразвуковые.** Ультразвуковые теплосчетчики работают на принципе изменения времени прохождения ультразвукового сигнала от источника до приемника сигналов, которое зависит от скорости потока жидкости. Основной принцип работы любого из них заключается примерно следующем: на трубе друг напротив друга устанавливаются излучатель и приемник ультразвукового сигнала. Излучатель посылает сигнал сквозь поток жидкости, а приемник через некоторое время получает его.

Время задержки сигнала между моментами его излучения и приема прямо пропорционально скорости потока жидкости в трубе: оно измеряется и по его величине вычисляется расход жидкости в трубопроводе. Ультразвуковые теплосчетчики хорошо работают при измерении расхода чистой, однородной жидкости, проходящей по чистым трубам. Однако, при протекании жидкостей, имеющих посторонние включения – окалина, частицы накипи, песок, воздушные пузыри и при неустойчивом расходе, они дают существенные неточности показаний.

**Вихревые.** Обычно вихревые теплосчетчики состоят из треугольной призмы, которая находится в трубе дальше по пути жидкости, и постоянного магнита снаружи трубы.

Показатели теплосчетчика зависят от измерения пульсации давления в потоке, которая возникает из-за срывного обтекания жидкости, текущей по трубопроводу. Регулярная дорожка, которая образуется вихрями в жидкой среде, превышающая по скорости необходимый максимум, называется «дорожкой Карно». Вихревые теплосчетчики не реагируют на отложения в трубах, и на железные примеси в воде, хотя и реагируют на слишком быстрые изменения в потоке, и на крупные примеси в жидкости. Обычно подобные теплосчетчики устанавливаются на вертикальных и горизонтальных участках трубы.

### **1.3 Принцип выбора теплосчетчиков**

Теплосчетчики классифицируются исходя из метода измерения расхода среды протекающей в трубопроводе, имеют метрологические и технические характеристики, условия монтажа и эксплуатации и т.д. Выбор теплосчетчика – непростая задача для неискушенного в данном деле специалиста. Перечислим некоторые аспекты, которые необходимо иметь в виду при выборе типа теплосчетчика:

1) Погрешность измерения массы. Большинство теплосчетчиков обеспечивают измерение массы теплоносителя с относительной погрешностью  $\pm 2\%$ , что соответствует установленной норме. Часто встречаются случаи, когда, например, в открытых системах отопления или в системах ГВС с циркуляцией, необходимо измерять не массу теплоносителя, а разность масс. В этом случае необходимо выбирать более точные приборы.

2) Диапазон измерений расхода. Большинство теплосчетчиков имеют динамический диапазон измерений расхода не более 1:150. У них наибольший расход соответствует скорости потока воды порядка 7 – 10 м/с и несколько более, а наименьший, которые можно корректно измерять, - скорости не более 0,4 м/с. На практике из-за малых напоров в системе теплоснабжения у потребителей фактическая скорость воды колеблется в пределах 0,1 – 0,5 м/с. Не все теплосчетчики способны работать в таком диапазоне. Кроме того, при переходе с зимнего на летний режим работы системы теплоснабжения расход теплоносителя уменьшается порядка в 3 – 5 раз.

3) Потери давления. Преобразователи расхода, входящие в состав теплосчетчика и при установке теплосчетчиков на трубопроводах, обладают гидравлическим сопротивлением. Поэтому при относительно малых напорах необходимо использовать полнопроходные (без занижения диаметра трубопровода) электромагнитные или ультразвуковые преобразователи, которые не создают потерь давления.

4) Условия эксплуатации. При выборе теплосчетчиков необходимо принимать во внимание качество теплоносителя. Если есть вероятность наличия в воде механических и газовых примесей, то не



рекомендуется использовать ультразвуковые и тахометрические теплосчетчики. В данном случае наиболее предпочтительнее применение электромагнитных или вихревых теплосчетчиков. Если в воде имеются ферромагнитные примеси, не рекомендуется использовать тахометрические теплосчетчики и вихревые с электромагнитным съемом сигнала. При наличии в сетевой воде примесей, образующих пленки или осадки на внутренней поверхности трубопроводов не рекомендуется применение электромагнитных теплосчетчиков из-за искажений показаний теплосчетчика.

## Расчетные задания

*Задание 1.* Определить количество тепловой энергии отпущенной паром,  $G$ , кг/с, если:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$G$ , кг/с	2,3	2	2,5	1,3	1,5	1,1	1,4	2,1	2,3	1,8
$P$ , кгс/см <sup>2</sup>	1,2	2,4	1,6	3,8	2	4,2	5,4	2,6	2,8	3

За правильное оформление и решение – 5 баллов.

*Задание 2.* По конспектам составить кроссворд из 5 слов. Затем обменяться с другой подгруппой и получить дополнительные баллы за разгадывание их кроссворда. (Максимальное количество баллов – 10)

*Задание 3.* Из предложенных элементов мозаики собрать изображение (3 балла), определить название данного устройства (2 балла), рассказать принцип действия данного устройства (5 баллов).

*Задание 4.* Расшифровать определение (5 баллов)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
А, Б, В	Г, Д, Е	Ж, З, И, Й	К, Л, М	Н, О, П	Р, С, Т	У, Ф, Х	Ц, Ч, Ш, Щ	Ъ, Ы, Ь	Э, Ю, Я

### Подведение итогов:

27 – 30 баллов – оценка «5»

20 – 26 баллов – оценка «4»

15 – 20 баллов – оценка «3»

### **Вопросы для защиты практической работы:**

- 1) Устройство и принцип действия теплосчетчика и тепломера.
- 2) Устройство и принцип действия тепловизора.
- 3) Устройство и принцип действия дымомера.

## Список использованных источников

- 1) Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств. Учебник для вузов. Издание 2-е перераб. и доп. М., «Машиностроение», 1974, 464с.
- 2) Мурин Г.А. Теплотехнические измерения.-М: Энергия,1979.
- 3) Рульнов А.А., Горюнов И.И., Евстафьев К.Ю. Автоматическое регулирование. Учебник.-М.: ИНФРА-М, 2008.-219 с. – (Среднее профессиональное образование).
- 4) Г.П. Плетнев Автоматическое регулирование и защита теплоэнергетических установок, электрических станций.
- 5) Файерштейн Л.М. и др. Справочник по автоматизации котельных. Под общю ред. Л.М. Файерштейна. М., «Энергия», 1972. 360 с. с ил.
- 6) Голубков Б.Н. и др. Теплотехническое оборудование и теплоснабжение промышленных предприятий.-3изд.- М.: Энергия, 1990. стр. 88-91; 106-120.
- 7) Болдырев Ю.Н., Примеры и задачи по курсу процессы и аппараты, М: Лесная промышленность, 1985г. стр. 151-158; 184-190
- 8) Плановский О.М., Процессы и аппараты химической технологии., М: Химия, 1968г. 505-509; 590-600; 712-723.
- 9) Справочник бумажника, т.1.М., «Лесная промышленность», 1964, 842с.
- 10) Рабинович О.М. Сборник задач по технической термодинамике. М., «Машиностроение», 1973, 344 с.
- 11) Лебедев П.Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки. Учебник для студентов технических вузов. Изд. 2-е, перераб. М., «Энергия», 1972.

