

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
 образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Энергетический  
 Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
 Кафедра Атомных и тепловых электростанций

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

| Тема работы  |
|--|
| <b>АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ РАБОЧЕГО ТЕЛА В ЭЛЕМЕНТАХ ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС</b> |

УДК 621.311.22.002.5:531.787

Студент

| Группа        | ФИО                             | Подпись | Дата |
|---------------|---------------------------------|---------|------|
| <b>3-5Б12</b> | <b>КУРАЧ Дмитрий Алексеевич</b> |         |      |

Руководитель

| Должность   | ФИО                 | Ученая степень,<br>звание   | Подпись | Дата |
|---|---------------------|-----------------------------|---------|------|
| <b>доцент кафедры<br/>атомных и тепловых<br/>электростанций</b> | <b>Е. А. Маслов</b> | <b>к.ф-м.н.,<br/>доцент</b> |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность  | ФИО                   | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|--|-----------------------|---------------------------|---------|------|
| <b>ст. преподаватель<br/>кафедры менеджмента</b> | <b>Н. Г. Кузьмина</b> | -                         |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность   | ФИО                      | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|---|--------------------------|---------------------------|---------|------|
| <b>доцент кафедры<br/>экологии и<br/>безопасности<br/>жизнедеятельности</b> | <b>М. Э. Гусельников</b> | <b>к.т.н., доцент</b>     |         |      |

Нормоконтроль

| Должность  | ФИО                  | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|--|----------------------|---------------------------|---------|------|
| <b>ассистент кафедры<br/>атомных и тепловых<br/>электростанций</b> | <b>В.Н. Мартышев</b> | -                         |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Зав. кафедрой                                | ФИО                 | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|--|---------------------|---------------------------|---------|------|
| <b>атомных и тепловых<br/>электростанций</b> | <b>А.С. Матвеев</b> | <b>к.т.н., доцент</b>     |         |      |

Томск – 2016 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
 образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический  
 Направление подготовки **13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**  
 Кафедра «Атомных и тепловых электростанций»

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой АТЭС ЭНИН  
 \_\_\_\_\_ А.С. Матвеев  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

**Бакалаврской работы**

(бакалаврской работы, /работы, магистерской диссертации)

Студенту:

| Группа        | ФИО                             |
|---------------|---------------------------------|
| <b>3-5Б12</b> | <b>Курач Дмитрий Алексеевич</b> |

Тема работы:

**Анализ методов и средств измерения давления и скорости рабочего тела в элементах  
 оборудования ТЭС**

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| Утверждена приказом директора (дата, номер) | <b>№1815/с от 10.03.2016 г.</b> |
|---|---------------------------------|

|  |                          |
|--|--------------------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | <b>10 июня 2016 года</b> |
|--|--------------------------|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|   |   |
|---|---|
| <b>Исходные данные к работе</b>   | Данные учебных, специальных справочных и периодических источников   |
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обоснование темы</li> <li>2. Измерение давления жидкости и газов</li> <li>3. Прямой метод измерения давления                         <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1. Деформационные приборы давления</li> <li>3.2. Приборы давления</li> </ol> </li> <li>4. Методы измерения скорости жидкости и газов                         <ol style="list-style-type: none"> <li>4.1. Измерение скорости при малых числах Маха</li> <li>4.2. Измерение скорости при больших числах Маха</li> </ol> </li> </ol> |

|  |   |
|--|---|
|  | 4.3. Измерение числа Маха<br>5. Косвенные методы измерения давления и скорости<br>5.1. Измерение давления с изменением физических свойств среды<br>5.2. Измерение скорости потока термоанемометром<br>6. Измерение расхода жидкости и газа<br>7. Вопросы безопасности жизнедеятельности<br>8. Вопросы менеджмента<br>9. Выводы и заключение |
| <b>Перечень графического материала</b><br><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>        |   |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b><br><i>(с указанием разделов)</i> |   |
| Раздел   | Консультант   |
|  |   |
| <b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>            |   |
|  |   |

|  |                            |
|--|----------------------------|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | <b>12 января 2016 года</b> |
|--|----------------------------|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность              | ФИО                              | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------------|----------------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент кафедры<br>АТЭС | Маслов<br>Евгений<br>Анатольевич | к.ф-м.н.               |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                      | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|------|
| 3-5Б12 | Курач Дмитрий Алексеевич |         |      |

**Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

| Код<br>результата                   | Результат обучения<br>(выпускник должен быть готов)  |
|-------------------------------------|--|
| <i>Универсальные компетенции</i>    |  |
| Р1                                  | Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной инженерной деятельности</i> .             |
| Р2                                  | Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных инженерных задач</i> .   |
| Р3                                  | Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной инженерной деятельности</i> с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.      |
| Р4                                  | Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.   |
| Р5                                  | К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности. |
| Р6                                  | Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.   |
| <i>Профессиональные компетенции</i> |  |
| Р7                                  | Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i>   |

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
|                                     | (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.   |
| P8                                  | Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.  |
| P9                                  | Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию с учетом нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений. |
| P10                                 | Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний и <i>современных</i> методов.  |
| P11                                 | Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.  |
| P12                                 | Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.  |
| <i>Специальные профессиональные</i> |   |

|     |  |
|-----|--|
| P13 | Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.                           |
| P14 | Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины. |
| P15 | Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.  |
| P16 | Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приёмке и освоению вводимого оборудования.              |

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 66 с., 12 рисунков, 2 таблицы,  
12 источников.

Ключевые слова: ДАВЛЕНИЕ, СКОРОСТЬ, ЖИДКОСТЬ, ГАЗ,  
ПРЯМОЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ, КОСВЕННЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ,  
МАНОМЕТР, ЧИСЛО МАХА, ТЕРМОАНЕМОМЕТР, РАСХОДОМЕР,  
ТРУБКА ПИТО.

Объектом исследования является (ются): методы и средства измерения  
давления и скорости жидкости и газов

Цель работы – анализ методов и средств измерения давления и скорости  
рабочего тела в элементах оборудования тэс

В процессе исследования проводились: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

В результате исследования: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Основные конструктивные, технологические и технико-  
эксплуатационные характеристики: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Степень внедрения: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Область применения: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Экономическая эффективность/значимость работы: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

В будущем планируется: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## **Оглавление**

|  |    |
|--|----|
| ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ                                  | 4  |
| РЕФЕРАТ  | 7  |
| ВВЕДЕНИЕ   | 9  |
| 1 ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ И ГАЗОВ                                | 11 |
| 2 ПРЯМОЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ                                    | 16 |
| 2.1 Деформационные приборы давления                                  | 16 |
| 2.2 Электрические приборы давления                                   | 20 |
| 3 МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ЖИДКОСТИ И ГАЗОВ                         | 23 |
| 3.1 Измерение скорости при малых числах Маха                         | 23 |
| 3.2 Измерение скорости при больших числах Маха                       | 29 |
| 3.3 Измерение числа Маха   | 31 |
| 4 КОСВЕННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ                     | 37 |
| 4.1 Измерение давления с изменением физических свойств среды         | 37 |
| 4.2 Измерение скорости потока термоанемометром                       | 39 |
| 5 ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ЖИДКОСТИ И ГАЗА                                  | 43 |
| 6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И<br>РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ | 48 |
| 7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ   | 54 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ   | 65 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ                                     | 66 |

## ВВЕДЕНИЕ

Метрология - наука, в которой рассматриваются вопросы теории измерений, средства обеспечения единства и способы достижения необходимой точности этих измерений. Основной задачей метрологии является установление единиц измерения, определение способов передачи размерности единицы от эталонов до измеряемого объекта через ряд промежуточных звеньев.

В настоящее время большая часть всех измерений, которая выполняется в теплоэнергетике, связана с измерением давления рабочего тела, его расхода, уровня и количества. В связи с этим на тепловых электростанциях (в дальнейшем ТЭС) возрастают требования к точности измерения этих параметров. Под рабочим телом мы понимаем жидкое или газообразное вещество, при помощи которого какой-либо вид энергии преобразуется в механическую работу, теплоту, холод. Наиболее распространенные рабочие тела на ТЭС: водяной пар - в паровых турбинах, конденсат - продукт отработавшего пара в тракте основного конденсата, питательная вода - в тракте питательной воды, и т.д.

Целью работы является изучение методов и средств измерения давления и скорости рабочего тела, так как они являются одними из самых основных рабочих параметров. Для этого требуется точность и надежность измерений, которые будут определять оптимальные режимы работы, а так же качество, надежность и экономичность работы основного и вспомогательного оборудования. Разнообразие требований к технике измерений давления и скорости, обусловлено огромной спецификой научных исследований в области теплоэнергетики. Разнообразные свойства измеряемых тел способствовали появлению, внедрению и разработке многих средств и методов измерений этих параметров. Пожалуй, ни в какой другой области измерения нет такого большого количества идей и технических решений, как в областях измерения давления и скорости. Все

физические явления и закономерности, открытые в наше время, рассматриваются в современной технике измерения этих величин.

Объект исследования данной работы - анализ методов и средств измерения давления и скорости рабочего тела в элементах оборудования ТЭС.

В работе представлены результаты исследования методов измерений давления и скорости, а также рассмотрены принципы работы устройств для измерения давления и скорости. Показаны основные физические явления, лежащие в основе методов измерений; оценка методических погрешностей и обоснование преимущественных обстоятельств с целью использования данных измерительных приборов.

## 1 ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ И ГАЗОВ

Давление является одним из самых распространенных параметров, измеряемых на ТЭС. Работа газотопливного хозяйства была бы невозможна без измерения давления сжигаемого газа, которое необходимо для безопасной работы. Для измерения давление пара в барабане котла, по которому производят контроль эффективности сжигаемого топлива и теплоотдачи к трубам в топке невозможна была бы работа котельной установки. Зная давление перегретого пара мы можем определить экономичность работы энергоблока, и каких количествах будет откладываться соль на внутреннюю поверхность трубопроводов. Для определения параметров работающих насосов измеряют давление питательной воды, основного конденсата, технической воды. Зная давление, мы будем наблюдать за большим количеством параметров, например: давление пара, который подается на эжектора, форсунки, продувки и т.д.

Давление, как одна из физических величин, станет определяться в виде энергии вещества(жидкость или газ), что принадлежит к единице объема, и считается совместно с температурой главным параметром его физического состояния. Давление воздействует на предмет и выражается в виде силы, которая действует на единицу измеряемой площади , т. е.

$$p = \frac{F}{S}, \quad (1.1)$$

где  $p$  — давление;  $F$  — сила, действующая на объект;  $S$  — площадь поверхности объекта.

При этом принимаем во внимание то, что действие силы станет равномерно распределено по всей плоскости, а в жидкости либо газе отсутствуют касательные усилия. Воздействующая сила каждый раз будет перпендикулярна к плоскости вне зависимости в каком состоянии она располагается, из этого следует что давление считается скалярной величиной [1].

В СИ за единицу давления принята единица измерения - Паскаль (Па). Паскаль - давление действующей силы в один Ньютон на площадь равную одному квадратному метру ( $\text{Па} = 1 \text{ Н/м}^2$ ). Для измерения применяются более кратные единицы, такие как кПа и МПа.

При измерениях различают три основных вида давления: абсолютное, вакуумметрическое и избыточное давления. Абсолютное давление - это полное давление, которое равно сумме атмосферного и избыточного

$$P_{\text{абс}} = P + P_{\text{атм}}. \quad (1.2)$$

Вакуумметрическое давление ниже атмосферного

$$P_{\text{в}} = P_{\text{атм}} - P_{\text{абс}}. \quad (1.3)$$

Оборудование в зависимости от измеряемой величины разделяется на манометры (используемые с целью замеров абсолютного и избыточного давления), вакуумметры (в целях замера вакуумметрического давления) и барометры (в целях замера атмосферного давления).

Манометры, которые предназначены для замера небольших избыточных давлений в границах вплоть до 40 кПа, именуют напоромерами. Оборудование для измерения давления, обладающие двусторонней шкалой измерения с границами  $\pm 20$  кПа, называют тягонапоромерами. В подобных манометрах присутствие значения нуль на шкале, будет показывать что давление соответствует атмосферному). При измерении разницы давлений станут использоваться дифференциальные манометры либо дифманометры.

Согласно принципу воздействия чувствительного элемента манометры подразделяют на жидкостные, деформационные, грузопоршневые и электрические. В качестве откалиброванных, согласно которым производится поверка и контроль рабочих устройств, используются грузопоршневые манометры.

Передача сигнала, получаемого с восприимчивого компонента изначального преобразователя к второстепенным механическим устройствам, производится механически в показывающих манометрах, или с поддержкой преобразователей дифференциально-трансформаторных,

ферродинамических, с магнитной либо энергосиловой компенсацией, а также тензопреобразователей.

Способы определения давления в значительных случаях определяют равно как основы воздействия, так и конструктивные черты и особенности средств измерений. В связи с этим в первую очередь необходимо затронуть наиболее общий методологический вопрос техники измерения давлений.

Давление возможно определить способом его прямого замера, либо с помощью замера иной физической величины, которая функционально связана с измеряемым давлением.

В первом варианте измеряемое давление будет воздействовать прямо на особо чувствительный компонент устройства, транслирующий данные о показании давления дальнейшим звеньям измерительной цепочки, преобразующим ее необходимую конфигурацию. Данный метод определения давления является методом прямых измерений, и обладает наибольшей популярностью в технике измерения давления. Данный способ представляет основные принципы работы большинства манометров и измерительных преобразователей давления.

Во втором варианте будут непосредственно измеряться другие физические величины или параметры, которые характеризуют физические характеристики измеряемой среды, показания которых связаны с давлением. К примеру такие величины как теплопроводность газа, скорость распространения ультразвука, температура кипения жидкости и т. д.). Данный способ называется методом косвенных или непрямых измерений давления и используется в тех ситуациях, когда непосредственный метод согласно тем или иным обстоятельствам нельзя применить. Например, при измерении сверхнизкого давления в вакуумной технике либо при измерении высоких и значительных давлений [1].

Способы замеров давления избирают в зависимости от нужной точности измерений, обстоятельств выполнения измерений, границ

измеряемых давлений, методов отбора давления и его подвода к измерительным устройствам.

Для надежной работы приборов, конечное значение их шкалы выбирается таким образом, чтобы оно было выше измеряемых величин при постоянном давлении в 1,5 раза, а при колеблющихся режимах - в 2 раза. В обоих вариантах наименьшее измеряемое давление обязано быть не менее  $1/3$  шкалы измерений прибора.

Показания манометров с упругими восприимчивыми компонентами будут зависеть от температуры среды, поэтому их нужно размещать таким образом, чтобы устранить воздействие температур измеряемой и окружающей среды. Поправочная погрешность данных манометров будет в пределах 0,4% на каждые  $10^{\circ}\text{C}$ .

При отборе давления в жидких средах не рекомендуется выбирать место в нижних и верхних точках трубопроводов. Это делается для предотвращения попадания шламов, взвесей и газов в импульсные линии. В газообразной среде не рекомендуется устанавливать в нижних точках, из-за возможности забрасывания жидкости, влажного пара, сконденсировавшихся газов в импульсные линии. Протяженность этих линий не может быть больше 50 м, потому что с ее ростом будет увеличиваться инерционность и запаздывание, в показаниях приборов. Внутренний диаметр линий должен быть в пределах от 6 до 15 мм. Приборы отбора давления никак не обязаны вызывать возмущения текущей среды

С точки зрения правильной эксплуатации в технологических местах, таких как давление перегретого пара и питательной воды, обязаны измерять основными манометрами, которые снабжены передающими преобразователями ко вторичным приборам, расположенным на блочном щите управления. С целью контроля давления различных сред в вспомогательном оборудовании применяют показывающие манометры непосредственного воздействия. Такие манометры устанавливаются непосредственно на рабочем месте, которое не подвергается воздействию

высокой температуры, вибраций, агрессивных газов, водяных паров. Для нормальной работы таких манометров необходима температура окружающей среды  $t = 5 \div 50^{\circ}\text{C}$  и влажность в пределах от 30 до 80%. Манометры должны располагаться вертикально с положением штуцера вниз.

Приборы для измерения давления правильнее в целом располагать таким образом, чтобы на них дополнительно не действовало давление столба жидкости в линии, иначе в показания манометра вводится указываемая на приборе поправка со знаком «+» или «-». При расположении манометра выше места отбора давления поправка будет со знаком «+». А при расположении ниже поправка будет со знаком «-»..

## 2 ПРЯМОЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Как мы уже рассмотрели выше, прямой метод измерения давления - это метод, при котором давление определяется путем его непосредственного измерения. В данном методе давление будет воздействовать непосредственно на чувствительный элемент прибора, передающий информацию о значении давления последующему звену измерительной цепи, которое будет ее преобразовывать в нужную форму. Одними из главных приборов для прямого метода измерений, применяемых на тепловых электростанциях, являются деформационные и электрические манометры. Рассмотрим подробно их устройство и применение.

### 2.1 Деформационные приборы давления

Приборы, основанные на упругой деформации чувствительного элемента, используемые для определения давления, будут обширно применимы в диапазоне от 50 Па до 1000 МПа. Действующая сила, будет преобразовываться в показания прибора или в изменения выходного сигнала и будет пропорциональна давлению. Такие приборы изготавливают в виде тягомеров, манометров, напорометров, а так же вакуумметров.

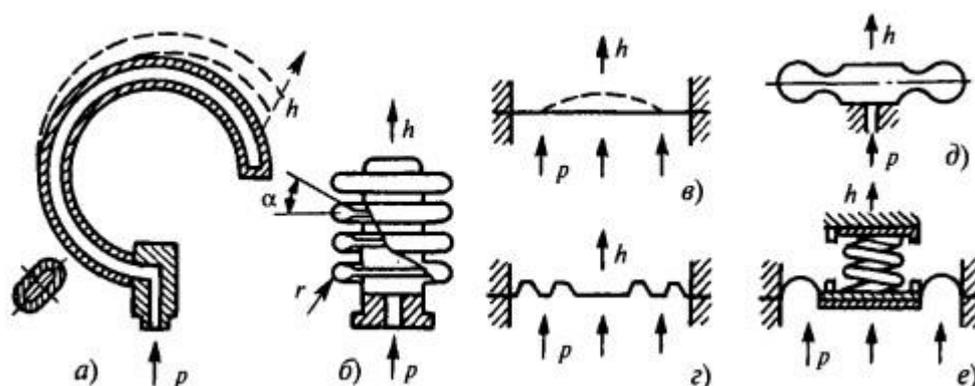


Рисунок 2.1 - Чувствительные элементы приборов деформационных манометров

(а, б — мембраны, в — мембранная коробка, г — сиффон, д — цилиндрическая пружина) и их статические характеристики (е)

В качестве упругих чувствительных элементов приборов для измерения давления применяют мембраны (рисунок 2.1, а, б), мембранные

коробки (рисунок 2.1, в), сильфоны (рисунок 2.1, г), трубчатые пружины (рисунок 2.1, д).

Чувствительный элемент прибора характеризует зависимость перемещения его рабочей точки от действующего давления  $P$  или разности этих давлений (рисунок 2.1, е). Эту зависимость стремятся сделать линейной. С этой целью применяют крепкие сплавы цветных металлов с значительным коэффициентом упругости. В случае возрастания измеряемого давления упругие деформации станут преобразовываться в пластические. Данный вид зависимости получил название как нелинейная зависимость. В эксплуатации устройств давления область упругих деформаций способна уменьшиться вследствие повышения температуры окружающей среды, по этой причине основное оборудование приходится размещать на удаленных расстояниях от горячего тела. Помимо этого, с течением времени из-за повторяющихся нагрузок под воздействием давления чувствительный элемент будет терять свои упругие свойства и накапливать пластические деформации. Таким образом, эти факторы оказывают отрицательное воздействие на надежную работу чувствительных элементов приборов давления, и эти воздействия обязательно учитываются при эксплуатации.

Далее мы подробно рассмотрим приборы для измерения давления с упругими чувствительными элементами. Манометры с цилиндрической пружиной в основном считаются устройствами, в которых давление, измеряемое последовательно, будет преобразовываться в передвижение незакрепленного конца пружины. Связанное с ним показывающее, регистрирующее или сигнализирующее устройство (в основных приборах) или преобразователь давления в унифицированный электрический сигнал так же будет относиться к данному типу оборудования.

В данный момент выпускают самопишущие и показывающие манометры с одновитковой цилиндрической пружиной. Максимальный порог измеряемых давлений будет определяться стандартным рядом (0,6; 1;

1,6; 2,5; 4)·10<sup>n</sup> МПа, где n = - 1; 0; 1; 2; 3. Пружинные вакуумметры располагают интервалом замера от - 0,1 до 0 МПа.

Особенность работы манометров с цилиндрической пружиной представлен на рисунке 2.2, на котором показан дифманометр МТ. Особо чувствительный компонент манометра исполнен в варианте пустотелой одновитковой цилиндрической пружины 3, основная ось которой изображает собой дугу окружности с углом 200 - 270°. В первый конец пружины, через радиальный штуцер 5 подается давление. Этот штуцер будет закреплен. Второй же закрытый конец способен передвигаться. Разрез цилиндрических пружин имеет возможность быть выполненным в форме эллипсоида - так называемая пружина Бурдона, или может быть плоскоовальным.

В трубке под давлением сечение будет деформироваться (пунктирные линии см. на рисунке 2.1, д) и пружина будет стараться выпрямиться. Ее восприимчивость становится тем больше, чем больше радиус кривизны. И чем меньше будет толщина стенки сечения тем больше пружина будет стараться выпрямиться.

МЭД - трубчато-пружинные манометры. Такие манометры производят с дифференциально-трансформаторными преобразователями, встроенными в корпус прибора. Прочие манометры МПЭ создают с преобразователями магнитной и силовой компенсации. Предельные границы измерений давления в данных манометрах составляют от 4 до 60 МПа и от 4 до 100 МПа соответственно.

Кроме того пружинные манометры имеют пневматические преобразователи, что позволяет достигать на выходе унифицированный сигнал, зависящий от давления воздуха.

Пружинные манометры типа МП-П производят в тех же пределах измерений, что и МПЭ. С целью контроля сигнализаций максимальных отклонений давления в цепочках защиты и позиционной регулировки для измерений предназначены электроконтактные манометры (ЭКМ), в которых введены стрелки с электроконтактами, устанавливаемыми напротив

сигнализируемого значения давления. Демонстрирующий указатель имеет контакт. При его совмещении с любой дополнительной стрелкой происходит возникновение электрического импульса.

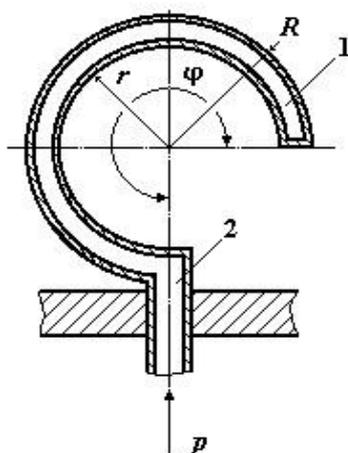


Рисунок 2.2 - Манометр с одновитковой пружиной:

1 - стрелка, 2,3 - пружины, 4 - поводок, 5 - штуцер

Разновидностью устройств предназначенных для определения давления с упругой пружиной в качестве чувствительного элемента являются колокольные дифманометры. Колокольные дифманометры предназначены для дистанционного измерения разности давлений, а так же вакуумметрического и избыточного давлений.

В приборах другого рода с целью замера давления восприимчивые компоненты делают в виде сильфона.

Сильфон (см. рисунок 2.1, г) изображает из себя тонкостенную трубку с круговыми гофрами в фронтальной плоскости. Упругость сильфона будет зависеть от материала и толщины стенки, количества и кривизны гофр. Основное оборудование с сильфонной трубкой бывает показывающим (индекс «П») данные и самопишущим (индекс «С»). Так как эти устройства наиболее восприимчивы к изменению давления, нежели цилиндрические пружины, то оборудование применяемое с ним используется для с целью измерения относительно не очень больших разрежений и давлений.

Наиболее различным согласно системе чувствительных компонентов считается оборудование с мембранными элементами. Тонкая пластина (см. рисунок 2.1, а) изображает из себя эластичную пластинку, прикрепленную вдоль окружности. При наличии и подаче давления в одну из камер, отделенных мембраной, центр ее окружности передвигается в определенную камеру. Статическая характеристика мембраны будет иметь нелинейный вид, по этой причине подобные пластины в устройствах давления никак не применяют. С целью линеаризации статических характеристик применяются гофрированные мембраны (см. рисунок 2.1, б) и мембранные коробки (см. рисунок 2.1, в). Наибольшее распространение заняли мембранные коробки, прочность каковых гораздо меньше чем прочность отдельной мембраны. Данное явление приводит к увеличению крутизны статической характеристики и росту зоны смещений, которые соразмерны приложенному давлению.

Мембранные восприимчивы компоненты имеют статическую характеристику зависимости наиболее крутую, нежели приборы с сильфонами, это дает возможность обширного использования их с целью замера небольших напоров и разрежений.

Различные мембраны и другие восприимчивые компоненты, используют в показывающих и самопишущих основных устройствах с интегрированными преобразователями давления в стандартное значение с силовой компенсацией[2].

## **2.2 Электрические приборы давления**

В электрических приборах давления, в чувствительных элементах происходит прямое преобразование давления в электрический измерительный сигнал, в отличие от основных. В них преобразование сигнала идет путем: давление - перемещение - унифицированный электрический сигнал.

Проведем анализ электрических приборов, в основе воздействия каковых лежит принцип зависимости электрического сопротивления веществ

от измеряемого давления. Такие приборы именуют тензопреобразователями. Тензопреобразователи производят из полупроводникового металла, платины, сплава меди с никелем, константана. В устройствах измерения давления их применяют в роли восприимчивых компонентов, которые соединяются с мембраной или пружиной прибора механически. Эта мембрана или пружина будет деформироваться под воздействием измеряемого давления.

В индустрии обрели популярность приборы для измерения давления «Сапфир» (рисунок 2.3, а). В приборах «Сапфир» в качестве восприимчивого компонента предназначается сапфировая пластинка, на которую напылены полупроводниковые сопротивления. Тензопреобразователи из полупроводников, в отличие от металлических имеют большую чувствительность, небольшой объем и вес. Измерительная модуль устройства «Сапфир» показан на рисунке 2.3, б. В электрическом мосте в плечи установлены тензопреобразователи 3, они расположены симметрично в мембране 2, которая будет воспринимать измеряемое давление. Сигнал небаланса моста усиливается, и на выходе преобразователя 1 (рисунок 2.3, а) получается унифицированный токовый сигнал (0-3 мА при сопротивлении нагрузки до 2,5 кОм). Приборы «Сапфир» выпускают следующих модификаций: манометры ДА, вакуумметры ДВ, дифманометры ДИ.

С целью измерения высоких давлений до 1000 МПа применимы тензопреобразователи из манганина. В таких устройствах для замера давления восприимчивые компоненты сделанные из этого материала выполняются в виде катушек. Сопротивление катушек под действием давления определяют при помощи мостовых измерительных схем, а при потребности в точных измерениях сопротивление измеряют потенциометрами.

Изъянами устройства «Сапфир» считается потребность в индивидуальной градуировки. Так же показания прибора сильно зависят от температуры измеряемого объекта. Именно из-за температуры измеряемого

объекта необходимо вводить в измерительную схему устройств с тензопреобразователями приборы термокомпенсации.

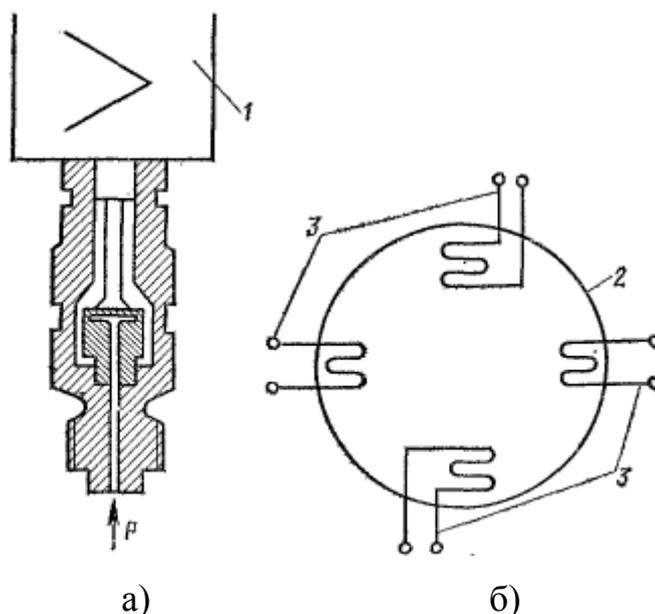


Рисунок 2.3 - Электрический прибор для измерения давления (а) и схема расположения тензопреобразователей на его чувствительном элементе - мембране (б)

Сущность действия прочих других электрических устройств с целью замера давления основана на применении пьезоэлектрического эффекта. Данное оборудование применяется при испытаниях и исследованиях основного оборудования станций. Данный эффект связан с возникновением электростатических зарядов на гранях кристаллов кварца при их деформации. Кристаллы исполняют в форме двух пластин, которые объединены с мембраной механическим способом. На эту мембрану будет воздействовать измеряемое давление. Пьезокварцевые манометры применяют для измерения давления до 100 МПа и обширно используются при измерении циклически меняющихся давлений с большой частотой. С увеличением количества кварцевых пластин и активной площади мембраны, а так же длины пластины чувствительность таких преобразователей увеличивается. [2].

### 3 ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ЖИДКОСТИ И ГАЗА

На сегодняшний день в экспериментальной практике с целью определения скорости потока жидкости или газа более широкую популярность получили пневмометрический и термоанемометрический метод измерения скоростей. При определении скорости на основе этих методов в движущийся поток вводят чувствительные элементы, которые в той, или иной степени искажают картину течения. Независимыми от указанного недостатка являются оптические методы измерения скорости. Куда более реже применяют другие способы измерения скорости.

Важными характеризруемыми параметрами при изучении аэродинамических свойств потока являются его скорость и число Маха. В зависимости от размерности числа Маха мы можем разделить пневмометрический метод на 2 способа измерения скоростей.

#### 3.1 Измерение скорости при малых числах Маха

Пневмометрический способ определения скорости широко известен в практике экспериментальных эмпирических исследований вследствие своей простоты и доступности. При малых скоростях течения рабочей среды ( $M < 0,3$ ), если возможно не учитывать ее сжимаемость, уравнение Бернулли для идеальной жидкости примет вид

$$p + \frac{\rho w^2}{2} = p^* = \text{const} . \quad (3.1)$$

Здесь  $p^*$ ,  $p$  - полное давление (давление торможения) и статическое давление;

$\rho$ ,  $w$  - плотность и скорость потока;  $M = w/a$ — число Маха, где  $a$  - местная скорость звука.

Уравнение 6.1 принято в основу пневмометрического способа определения скорости несжимаемого потока. Из уравнения 6.1 следует, что

$$w = \sqrt{2(p^* - p) / \rho} . \quad (3.2)$$

Этим способом, с целью определения скорости в рассматриваемой точке струи мы должны знать полное давление, статическое давление, плотность среды.

Простым насадком для отбора полного давления считается круглая трубка, линия оси которой будет совпадать с направлением движения потока. Открытый конец направляется против потока. Другой конец трубки соединяется с манометром. Измерительное приспособление подобного вида как правило называется насадком Пито (рисунок 3.1).

Статическое давление будет измеряться с помощью насадков, обладающих особой конструкцией. Опытным путем было provedено, что давление, улавливаемое в щелях либо отверстиях, которые расположены в фронтальной плоскости цилиндрического тела и находящиеся на значительном расстоянии от носка, будет равно статическому давлению невозмущенного потока. Измерительное приспособление такого вида называют насадком Прандтля (рисунок 3.2).

Плотность газового потока в рассматриваемой точке определяется по уравнению состояния.

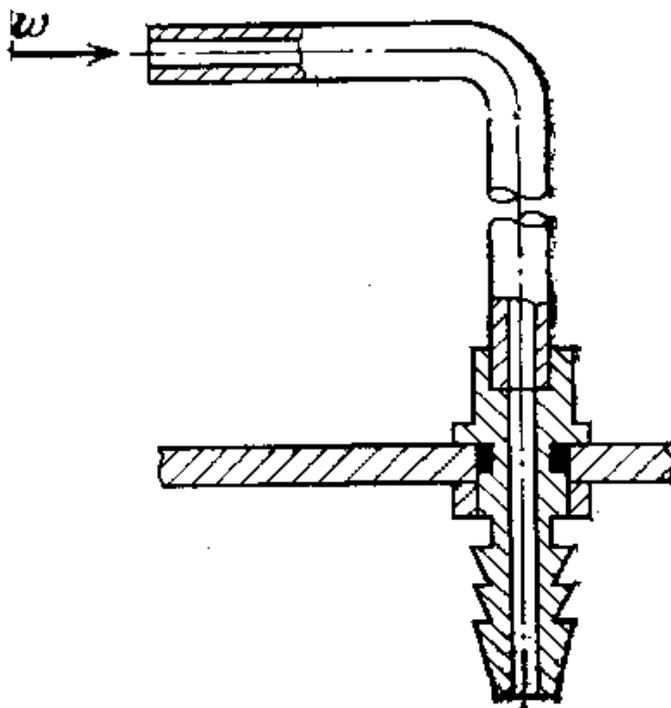


Рисунок 3.1 - Насадок Пито для измерения полного давления

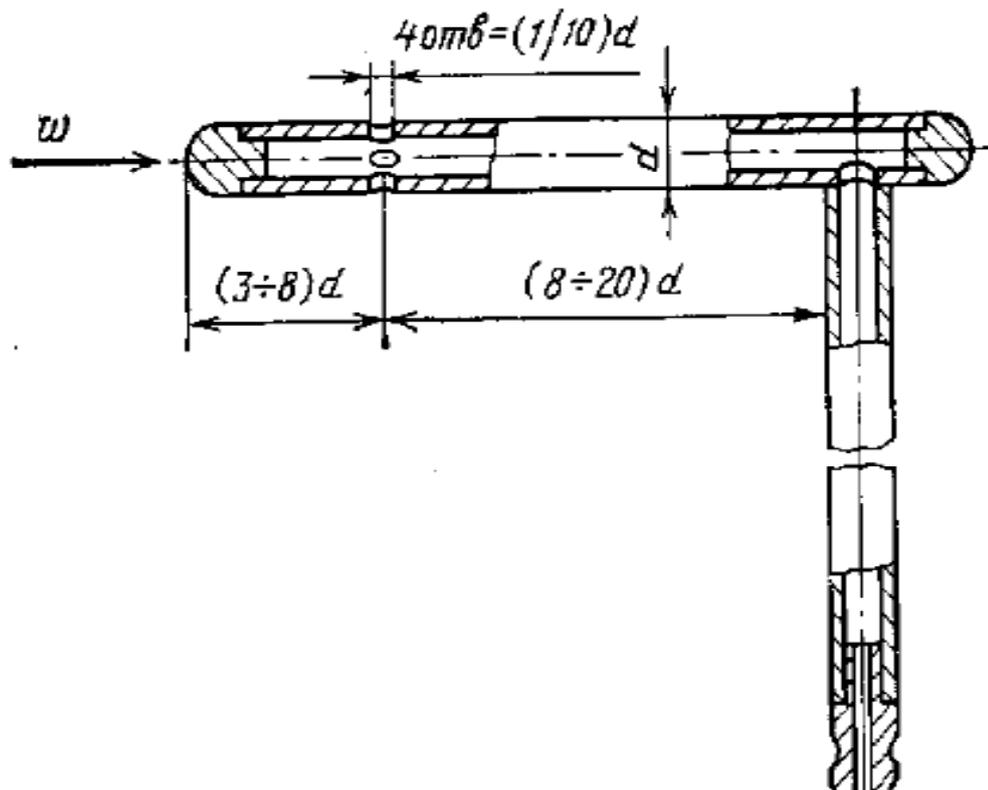


Рисунок 3.2 - Насадок Прандтля для измерения статистического давления

С целью установления скорости потока зачастую применяются зонды, которые представляют собой набор насадков из статического и полного давления. Из количества существующих комбинированных зондов обширно применяют насадок Пито - Прандтля, изображенный на рисунке 3.3. Продольное отверстие 1 насадка воспринимает полное давление, а отверстия 2 в фронтальной плоскости цилиндрического корпуса - статическое давление. Насадком Пито - Прандтля возможно определять давление в газовых потоках с числами Маха  $M$  не больше 0,85. Необходимо располагать, что как бы удачно ни была выполнена конструкция комбинированного зонда, динамическое давление будет измеряться им не совсем точно. Отдельные свойства насадка принято охарактеризовать поправочным коэффициентом, это коэффициент учитывает различие истинного динамического напора от напора воспринятого насадком:

$$w = \xi \sqrt{2(p^* - p) / \rho} . \quad (3.3)$$

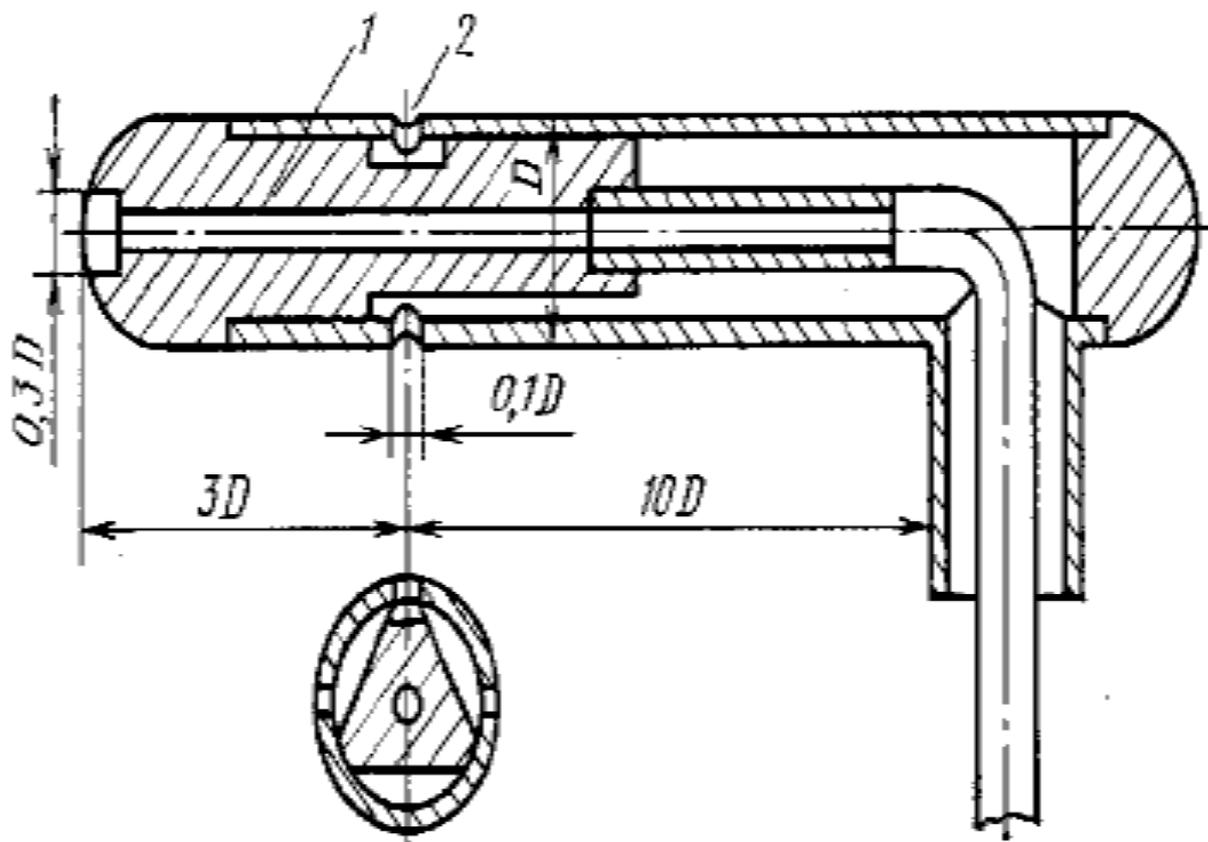


Рисунок 3.3 - Комбинированный насадок Пито - Прандтля

В истинных обстоятельствах работы насадки обтекаются вязкой жидкостью, а не идеальной, для которой было записано уравнение Бернулли (3.1). Но множественными экспериментами было определено, что при больших значениях чисел Рейнольдса вязкость не будет оказывать большого влияния на показания насадков. При малых числах Рейнольдса - поправка на влияние  $Re$  для цилиндрического насадка будет найдена по формуле

$$\frac{p^*-p}{\rho w^2 / 2} = 1 + \frac{5,6}{Re}, \quad (3.4)$$

где  $Re$  - число Рейнольдса, рассчитанное по радиусу приемного отверстия насадка, выполненного в виде тонкостенной трубки[3].

Показания насадков полного и статического давлений может меняться в зависимости от угла скоса потока относительно оси насадка. Данное воздействие в существенной степени будет зависеть от конструкции

приемника давления. Комбинированный насадок Пито - Прандтля нечувствителен к углам скоса потока в диапазоне  $10 - 15^\circ$ .

Низший порог скорости, измеряемой пневмометрическим способом, ограничивается чувствительностью микроманометров и как правило является в пределах  $4 - 6$  м/с. Направленность струи в свободном потоке или канале с прозрачными стенками возможно определить при помощи шелковой или хлопчатобумажной нити, а так же с помощью флажковых угломеров по их положению в потоке. Довольно просто и точно направление струи потока может быть установлено при помощи пневмометрических насадков, от зависимости давления, воспринимаемого приемными отверстиями и направления набегающего потока. В данном случае можно использовать насадок для отбора полного давления. Насадок помещают бегущий поток, крутят его вокруг своей оси и по наибольшим показаниям манометра приблизительно характеризуют направление струи. После чего насадок крутят таким образом, чтобы ось приемного отверстия была расположена под углом  $40 - 45^\circ$  к ориентировочному направлению потока. При таком состоянии насадок более чувствителен к углу атаки струи. Согласно лимбу закрепляется его угловое положение, а по манометру - давление. Вращая насадок в другую сторону, проходят через максимум давления и находят второе положение насадка, при котором давление будет равно ранее зафиксированному.

Направленность струи станет соответствовать направлению биссектрисы угла поворота насадка от первого до второго положения.

С целью замера направления двумерного потока возможно пользоваться насадком с двумя отверстиями. Отверстия расположены симметрично относительно его продольной оси. При этом применяют прямой и косвенный методы измерения.

Непосредственный или прямой способ основан на выравнивании давлений в отверстиях и прямом определении направления потока. При этом к приемным отверстиям насадка подсоединяют дифференциальный

манометр. Насадок придется устанавливать в координатник, позволяющий производить его вращение. Вращая насадок, добиваются такого его положения, при котором перепад давления по манометру будет равен нулю. В данном случае линия насадка т.е. биссектриса угла между осями отверстий, станет соответствовать направлению скорости набегающей струи.

В практических исследованиях не всегда комфортно и допустимо проворачивать насадок. В данных вариантах направленность струи определяют другим методом - косвенным. Согласно данному способу насадок устанавливают в определенное положение, ориентированное по началу отсчета или оси канала, и передвигают без вращения в намеченные области измерения. Таким образом в различных местах направленность струи не будет симметричной относительно отверстий. По манометру будут отмечены некоторые разности давлений. Согласно разнице данных давлений и тарировочной кривой этого насадка будет определяться направление струи.

Непрямой метод измерения или косвенный, потребует гораздо меньше непростого оснащения и минимальных затрат времени на эти измерения. Однако он менее точен, нежели прямой метод, в особенности при больших углах скоса струй. Косвенный метод требует предварительной тарировки. Прямой метод при тщательном изготовлении координатников и насадка дает возможность измерить угол атаки потока с погрешностью порядка  $\pm 0,1 \div 0,2^\circ$ , но потребует существенных расходов времени на проведение самих измерений. Превосходством прямого метода считается независимость измерений от чисел Маха и Рейнольдса.

В процессе измерений направления вектора скорости в трехмерном потоке в одном насадке располагают четыре приемных отверстия, плоскости которых будут взаимно перпендикулярны. Вращая насадок в двух перпендикулярных плоскостях, проходящих через его центр определяем направление в трехмерном потоке прямым способом. В вариантах если насадок невозможно вращать, измерения выполняют косвенным способом.

### 3.2 Измерение скорости при больших числах Маха

При газовом потоке обладающем повышенной скоростью будет проявляться сжимаемость газа, которая будет влиять на результаты измерений. В связи с этим при измерениях больших скоростей при числе Маха больше 0,3 необходимо применять уравнение Бернулли для сжимаемого газа:

$$w = \sqrt{\frac{2kRT}{k-1} \left[ \left( \frac{p^*}{p} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]} \quad (3.5)$$

где  $k$  - показатель адиабаты;  $R$  - газовая постоянная;  $T$  - термодинамическая температура потока.

Для числа Маха больше 0,85 в цилиндрической части насадка с полусферической головкой будут возникать местные сверхзвуковые зоны со скачками уплотнения, размещенными спереди приемных отверстий. Эти зоны вносят погрешность в результаты измерения статического давления. С целью снижения данных искажений при измерении высокоскоростных потоков приемные отверстия насадка смещают вниз по потоку, а также используют насадки с удлиненной головкой конической или оживальной формы (спрофилированной дугами окружности). В последнем случае длина насадка оказывается меньшей по сравнению с головкой конической формы.

При измерении скорости сверхзвукового потока при числе Маха больше 1 перед насадком возникает скачок уплотнения. В этом случае полное и статическое давления, измеренные с помощью соответствующих насадков, не совпадают с их значениями в невозмущенном потоке, а определяются состоянием потока за скачком уплотнения. В этой связи использование соотношения (8.5) вызывает дополнительные трудности, связанные с необходимостью определения величин  $p^*$  и  $p$  в невозмущенном потоке по измеренным их значениям  $p^*_0, p_0$  за прямым или соответствующим значениям  $p^*_1, p_1$  за косым скачком уплотнения. Поскольку между числом Маха в невозмущенном потоке и любой парой величин из перечня

$p^*$ ,  $p$ ,  $p^*_0$ ,  $p_0$ ,  $p^*_1$ ,  $p_1$  существует однозначная связь, определяемая известными газодинамическими соотношениями, то измерением любой пары этих величин и решается задача определения числа Маха. Например, при известном статическом давлении в невозмущенном потоке  $p$  и полном давлении за прямым скачком  $p^*_0$  число Маха в невозмущенном потоке определяется с помощью формулы Рэля

$$\frac{p}{p^*_0} = \frac{\left(\frac{2k}{k+1}M^2 - \frac{k-1}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}}}{\left(\frac{k+1}{2}M^2\right)^{\frac{k}{k-1}}}, \quad (3.6)$$

а при определении числа Маха в сверхзвуковых аэродинамических трубах удобно пользоваться уравнением, связывающим полное давление до и после прямого скачка:

$$\frac{p^*}{p^*_0} = \left(\frac{2k}{k+1}M^2 - \frac{k-1}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \left[\frac{(k-1)M^2 + 2}{(k+1)M^2}\right]^{\frac{k}{k-1}}. \quad (3.7)$$

Скорость потока связана с числом  $M$  соотношениями

$$w = M\sqrt{kRT}; \quad w = \sqrt{\frac{kRT^*}{1 + \frac{k-1}{2}M^2}}, \quad (3.8)$$

где  $T^*$  - температура торможения потока[3].

С целью замера давления  $p^*_0$  насадок обязан иметь притупленную конфигурацию головки. Диаметр приемного отверстия должен быть гораздо меньше наружного диаметра насадка для того, чтобы это отверстие целиком находилось за прямым скачком уплотнения. При измерении статического давления  $p$  следует применять насадок с заостренной конической или оживальной головкой. По этой причине в сверхзвуковых струях полное и статическое давления как правило измеряют разными насадками. При раздельном измерении полного и статического давлений в той или иной

точке потока следует устанавливать насадки таким образом, чтобы именно в этой точке находился носик насадка полного давления и через нее протекала область местоположения отверстий постоянного давления.

Для измерения скорости в сверхзвуковых струях плоскость поверхности насадка основательно обрабатывается и полируется. Приемочные отверстия делаются с особенной надежностью, потому что при сверхзвуковых скоростях заусенцы, рваные кромки и неровности в зоне приемочных отверстий будут возмущать поток и приводить к большим погрешностям измерения статического давления. Угол заострения головки насадка статического давления должен быть меньше предельного угла. Предельный угол - угол при котором возникает отсоединенная волна на конусе. Кроме этого следует предусмотреть что ударная волна, которая возникает перед носиком насадка, дойдя до стенки канала или расположенного рядом препятствия, будет отражаться не в зону расположения приемных отверстий, а к державке приемника. Процесс станет ошибочным, в случае если приемное отверстие насадка попадает в зону влияния отраженного от стенки головного скачка уплотнения. Державка насадка как правило располагается на расстоянии 6-12 калибров от приемных отверстий, При увеличении числа Маха это расстояние можно уменьшить.

Площади сечения канала насадка для измерения скоростей, близких к числу Маха равной 1, не должны в поперечном сечении иметь площадь более 0,1 %. При нарушении такого правила скорость, измеряемая насадком, будет значительно отличаться от действительного значения в результате сужения им поперечного сечения потока.

### **3.3 Измерение числа Маха**

В настоящее время наиболее распространенными и наиболее точными методами определения числа Маха являются косвенные методы, основанные на измерении давлений в потоке газа, которые можно рассмотреть на модельной аэродинамической установке.

МАУ - установка, создающая поток газа (воздуха) с целью изучения воздействия его на обтекаемый объект, а также для изучения аэродинамических явлений. С помощью аэродинамической трубы определяются силы, возникающие при полёте или движении объекта, исследуются их устойчивость, оптимальные формы. Опыты в аэродинамической трубе основаны на принципе обратимости согласно которому перемещение тела относительно воздуха (или жидкости) можно заменить движением воздуха, набегающего на тело. Установка характеризуется широким диапазоном реализуемых режимов работы, простотой конструкции, чрезвычайно низкими расходами сжатого газа и электроэнергии [4].

Основной функцией МАУ является создание кратковременного сверхзвукового или гиперзвукового потока газа, который может использоваться для разнообразных аэродинамических и аэрофизических исследований. МАУ служит для получения сверхзвукового и гиперзвукового потока с числами Маха от 2 до 4 без нагревателя или с числами Маха от 2 до 7 с использованием нагревателя.

Основные части установки: рама, 8 баллонов с ручными вентилями, основной клапан, диффузор, рабочая часть, рассекатель, сопло, форкамера, электрический нагреватель, источник питания. Перед экспериментом рабочий газ находится в 8 баллонах (4) с суммарным объемом 320 дм при давлении до 15.0 МПа. Для пуска установки основной клапан (3) включается с пульта управления (6) и рабочий газ из баллонов поступает в электрический нагреватель (12) и форкамеру (11). Осесимметричное сменное сопло (10) по контуру состыковано с фланцем форкамеры. Герметичная рабочая часть (9) представляет собой прямоугольную камеру. Имеется отверстие диаметром 140 мм в стенке, где размещён выход сопла. В противоположной стенке также имеется отверстие, где размещён вход диффузора. В боковых стенках установлены два оптических окна для визуализации протекающих процессов.

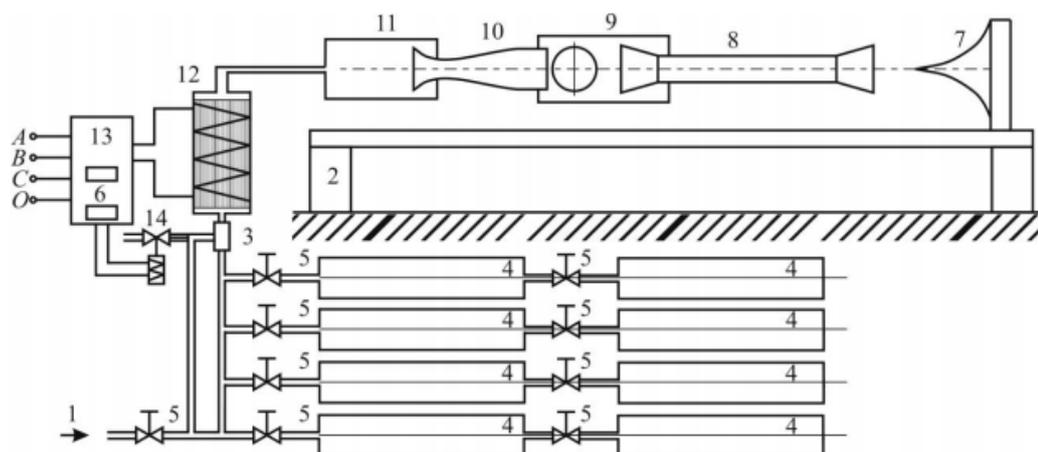


Рисунок 3.5 – Модельная аэродинамическая установка:

1 – подвод воздуха; 2 – рама; 3 – основной клапан; 4 – баллоны со сжатым воздухом ; 5 – ручные вентили; 6 – пульт управления; 7 – рассекаТЕЛЬ; 8 – диффузор; 9 – рабочая часть; 10 – профилированные сопла ; 11 – форкамера; 12 – электрический нагреватель; 13 – источник питания 20 кВт; 14 – управляющий клапан.

Для измерений полного(давление торможения) и статистического давления применяется комбинированный приемник, изображенный на рисунке 3.6. Все датчики давления подключены к цифровой регистрирующей системе. Во время выполнения пуска трубы через заданные интервалы времени производится измерение амплитуды поступающих от датчиков сигналов. Результаты измерений записываются в отдельный файл, а затем, производится их обработка.

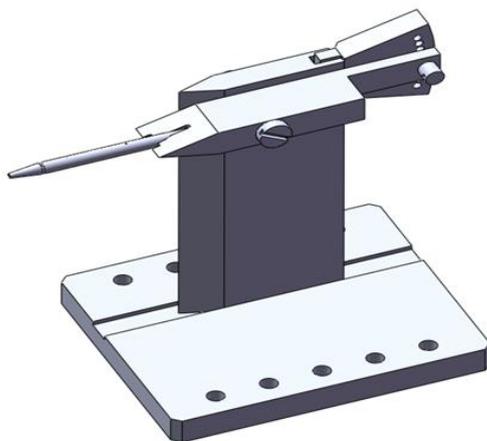


Рисунок 3.6 - Трубка Пито

Основным уравнением, на котором базируются способы определения числа  $M$  по измерениям давления, является уравнение Бернулли для адиабатического течения идеального сжимаемого газа:

$$\frac{k}{k-1} \cdot \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} = \text{const}; \quad (3.9)$$

где  $P$  – статическое давление в  $i$ -й точке потока, Па;

$\rho$  – плотность газа в этой точке, кг/м<sup>3</sup>.

Из уравнения (3.10) выразим связь между параметрами газа в произвольной  $i$ -точке потока и параметрами в точке торможения:

$$\frac{k}{k-1} \cdot \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} = \frac{k}{k-1} \cdot \frac{P_0}{\rho_0}; \quad (3.10)$$

где  $V$  – скорость потока, м/с;

$P_0$  – давление в точке торможения, Па;

$\rho_0$  – плотность в точке торможения, кг/м<sup>3</sup>.

Отсюда

$$\frac{V^2}{2} = \frac{k}{k-1} \cdot \frac{P}{\rho} \left( \frac{P_0}{\rho_0} \cdot \frac{\rho}{P} - 1 \right). \quad (3.11)$$

Подставляем в (3.11):

а) уравнение адиабаты

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{1}{k}};$$

б) уравнение состояния

$$\rho = \frac{P}{RT};$$

в) выражение для скорости звука

$$a = \sqrt{kRT},$$

после чего получаем:

$$V = \sqrt{\frac{2kRT}{k-1} \left[ \left( \frac{P_0}{P} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}; \quad (3.12)$$

$$M = \frac{V}{a} = \sqrt{\frac{2}{k-1} \left[ \left( \frac{P_0}{P} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]} \quad (3.13)$$

Выражение (7.5) часто встречается в другом виде:

$$\frac{P_0}{P} = \left( 1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (3.14)$$

Из уравнения 3.13 видно, что для определения числа  $M$  в заданной точке достаточно измерить отношение статического давления  $P$  и давления торможения  $P_0$  для этой точки потока. Следует обратить внимание на то, что температура потока не используется при определении числа Маха (3.13), а это существенно упрощает измерения.

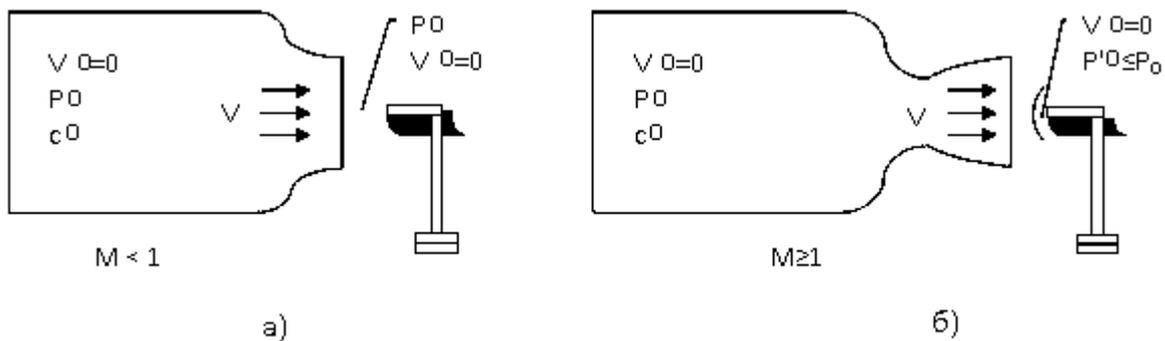


Рисунок 3.7 – Установка трубки Пито за соплом МАУ.

Для получения давления торможения в заданной точке потока используется тот факт, что при размещении в потоке затупленного тела на его лобовой поверхности всегда можно найти одну или несколько точек, в которых поток тормозится до нулевой скорости. Для измерения давления торможения  $P_0$  в дозвуковом потоке достаточно приемное отверстие разместить в этой точке и соединить его с датчиком давления (рисунок 3.7,а). В сверхзвуковых потоках перед затупленным телом обязательно возникает прямой скачок уплотнения (рисунок 3.7,б), в котором давление торможения

потока резко уменьшается, поэтому измеряемое на поверхности тела давление  $P_0'$  будет гораздо меньше действительного давления торможения  $P_0$  в невозмущенном потоке перед скачком. Известно, что потери давления торможения на прямом скачке можно найти по формуле Релея [5]:

$$\frac{P_0'}{P_0} = \frac{\frac{2k}{k+1}M^2 - \frac{k-1}{k+1}}{\left[ \frac{4k}{(k+1)^2} - \frac{2(k-1)}{(k+1)^2M^2} \right]^{\frac{k}{k-1}} \cdot \left( 1 + \frac{k-1}{2}M^2 \right)^{\frac{k}{k-1}}} \quad (3.15)$$

Выражая  $P_0$  из (7.7) и подставляя его в (7.6), получим следующее неявное соотношение для определения числа  $M$  в сверхзвуковом потоке:

$$\frac{P}{P_0'} = \frac{\left[ \frac{4k}{(k+1)^2} - \frac{2(k-1)}{(k+1)^2M^2} \right]^{\frac{k}{k-1}}}{\frac{2k}{k+1}M^2 - \frac{k-1}{k+1}} \quad (3.16)$$

При использовании соотношения (3.16) необходимо в одной точке измерить два параметра  $P$  и  $P_0'$ . Довольно часто на практике как в сверхзвуковых, так и в дозвуковых потоках предполагается отсутствие потерь давления вдоль линий тока. В хорошо спрофилированных аэродинамических трубах это предположение выполняется с высокой точностью. Тогда за  $P_0$  можно принимать давление торможения в форкамере (ресивере, откуда вытекает газ), а в потоке выполнять только одно измерение  $P_0'$  или  $P$ . В этом случае определение числа  $M$  производится по формуле (3.13), если измеряется давление  $P$ , или по формуле Релея (3.15), если измеряется  $P_0'$ .

## **4 КОСВЕННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ**

В отличие от методов прямых измерений, способы косвенных основываются на измерении физических величин (температуре, объеме и т.д.), значимости которых объединены известными физическими закономерностями, либо в изменении физических свойств измеряемой среды.

Косвенные способы, равно как и принцип, обретают использование в тех вариантах, при которых непосредственные способы измерения сложно осуществимы. К примеру можно отнести измерение крайне небольших давлений (вакуумные измерения) либо измерение сверхвысоких давлений, а также скорости жидкости и газов.

### **4.1 Измерение давления с изменением физических свойств среды**

Для определения давления также находят использование методы, которые основаны на зависимости от давления различных физических свойств жидкостей и газов и протекающих в них процессах. Во время измерения давления используются результаты исследований влияния давления на плотность, вязкость, теплопроводность, скорость распространения ультразвука, диэлектрическую проницаемость и другие свойства измеряемой среды.

В сфере значительных и посредственных давлений отмеченные способы обширного распространения не приобрели из-за их относительной сложности и трудоемкости по сравнению с иными способами. Такие способы как применение манганинового манометра сопротивления в области высоких давлений или прямых методов измерений в области средних давлений.

В сфере вакуумных измерений отмеченные способы используются почти везде. В тепловых и термодинамических манометрах применяется зависимость теплопроводности разреженного газа от давления. В ионизационных манометрах используется зависимость тока положительных ионов от измеряемого давления.

Максимальное продвижение в вакуумной технике приобрели термодинамические и ионизационные манометры (около 70%).

Термопарный манометр (рисунок 4.1, а) как и тепловой, основывается на принципе зависимости теплопроводности разреженного газа от давления. В состав манометра входит стеклянная или металлическая колба 3, в которую помещен нагреватель 1 и впаянная в него термопара 2. Нагреватель питается от источника переменного тока. Температура нагревателя, а именно температура термопары, будет определяться теплоотдачей в окружающий разреженный газ. Чем меньше давление газа, тем меньше его теплопроводность и соответственно больше температура. ЭДС на выходе термопары, которая и является мерой измеряемого давления будет расти. Шкала устройства 4 для измерения ЭДС калибруется в единицах давления. Этот принцип более результативен при давлениях в пределах 0,1 до 100 Па. При минимальных большая доля тепла передается излучением, а при давлении больше 100 Па увеличение теплопроводности газа будет резко замедляться. В двух вариантах значительно снижается чувствительность устройства. Ошибка измерений будет составлять 10 - 30 %. Состав газа существенно влияет на градуировочную характеристику. Индивидуальная градуировка необходима для уточнения показаний термопарного манометра.

В основе действия ионизационного манометра лежит зависимость от давления тока положительных ионов, образованных в результате ионизации разреженного газа. Ионизация газа производится электронами, ускоряемыми электрическим или магнитным полями, а также вследствие излучения радиоизотопов. При одинаковом количестве электронов, пролетающих через газ, и постоянной мощности излучения степень ионизации газа пропорциональна сосредоточению его молекул, т. е. измеряемому давлению.

В простом случае более применим ионизационный манометр с горячим катодом (рис. 4.1,б). Ионизационный манометр содержит стеклянную колбу 2, в которую впаяны анод 1 и катод 3. Благодаря разогреву катода источником постоянного тока 4, его поверхность испускает электроны, которые разгоняются напряжением  $U$  между катодом и анодом, и ионизируют находящийся между ними газ. Сила тока положительных ионов,

измеряемая гальванометром 5, является мерой измеряемого давления. С целью повышения уровня ионизации среди катода и анода размещена сетка, у которую подается напряжение, сообщающее дополнительное ускорение потоку электронов. Погрешности измерений составляют также 10 - 30 % [2].

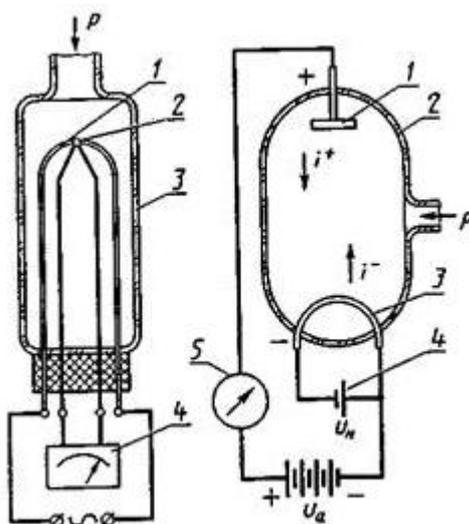


Рисунок 4.1 а, б - Термопарный манометр

#### 4.2 Измерение скорости потока термоанемометром

В особенности работы термоанемометра основан принцип зависимости, существующей между электрическим сопротивлением или температурой нагретого проводника, который помещен в поток, и скоростью его обтекания. Восприимчивым компонентом термоанемометра является проволочный или пленочный датчик, нагреваемый электрическим током.

Тепло, выделяемое в восприимчивом компоненте датчика при прохождении электрического тока, отводится от него средством естественной и вынужденной конвекции, излучения и теплопроводности. Исследование теплового равновесия тонкой нити датчика, нагретой электрическим током и размещенной в потоке перпендикулярно к направлению осредненной во времени скорости  $\bar{W}$ , дает возможность получить следующее выражение:

$$I^2 R_w / (R_w - R_f) = A + B \bar{W}^m, \quad (4.1)$$

где  $I$  - сила тока, проходящая через нить датчика;  $R_w, R_f$  - сопротивления нагретой и холодной нити;  $A, B, m$  - коэффициенты, зависящие от материала и размеров чувствительного элемента, теплофизических свойств, температуры потока, и т. п.

В соответствии с уравнением 4.1 мы видим, что с целью установления скорости потока  $\bar{W}$ , обтекающего нить, следует знать что силу тока, протекающую через нить датчика, и сопротивление нити. В действительности при помощи электрических схем стараются силу тока  $I$  или сопротивление  $R_w$  поддерживать постоянной. Одну из этих величин будут поддерживать постоянной, в то время как другая изменяется вместе с изменением скорости потока. В итоге получается однозначная зависимость между скоростью потока и изменяющейся величиной. Эта зависимость будет устанавливаться тарировкой прибора.

В связи с этим, зная какая величина будет поддерживаться постоянной, выделяют два метода измерения скорости термоанемометром: метод постоянной силы тока и метод постоянной температуры.

При методе с постоянной силой тока нить датчика нагревается постоянным по величине током, а скорость формируется согласно изменению электрического сопротивления.

При методе постоянного сопротивления температура нити датчика, а конкретнее и ее сопротивление сохраняются стабильными. Скорость определяется по изменению силы тока, требующейся для поддержки постоянного сопротивления нити датчика.

Второй способ замера скорости точнее первого и в настоящий период применяется больше. Схема способа постоянного сопротивления рассмотрена на рисунке 4.2. Датчик термоанемометра в виде тонкой нити или пленки включают в одно из плеч моста сопротивлений, к измерительной диагонали которого подключают дифференциальный усилитель, состоящий из усилителя напряжения  $U_n$  и усилителя тока  $U_t$ .

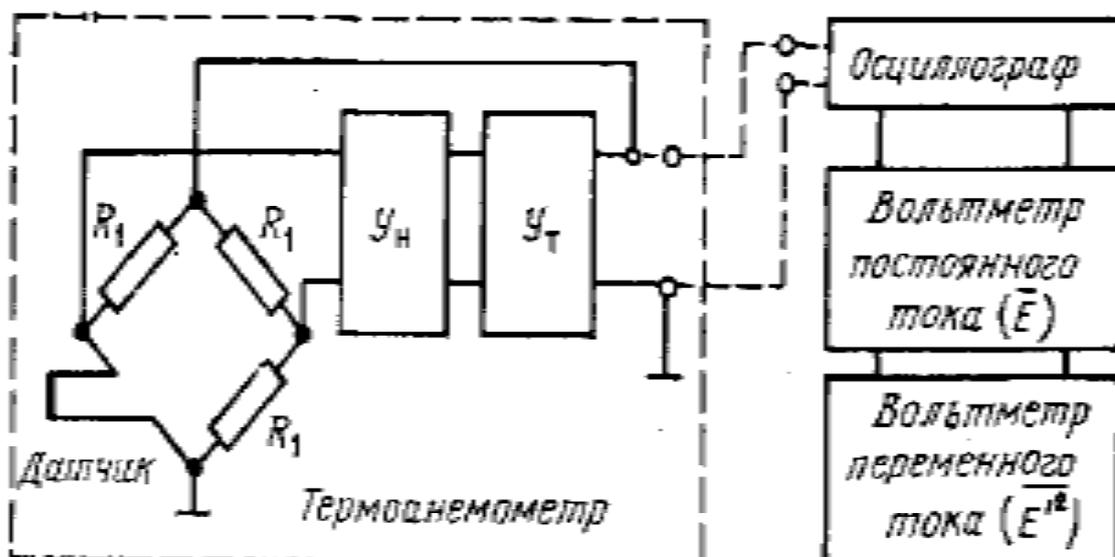


Рисунок 4.2 - Схема термоанемометра постоянного сопротивления

Выход дифференциального усилителя подключают к питающей диагонали моста сопротивлений. Электрический ток усилителя протекает через датчик и нагревает его до определенной температуры. Температура датчика поддерживается постоянной при помощи сервоуправляемой системы. Мгновенное значение расходуемой электрической энергии равно мгновенной тепловой потере на нагревание окружающей среды. Из уравнения теплового баланса (4.1), учитывая, что величины  $R_f$  и  $R_w$  остаются постоянными, получаем соотношение

$$\bar{E}^2 = A_1 + B_1 \bar{w}^m, \quad (4.2)$$

где  $\bar{E}$  - осредненное во времени значение падения напряжения на датчике, а величины  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $m$  определяются в результате тарировки последнего.

Конструктивно термоанемометр выполняется в виде отдельных блоков, состоящих из непосредственно термоанемометра (усилителя) и вторичной аппаратуры - вольтметров постоянного и переменного токов, осциллографов, анализаторов спектра, коррелометров и др. В простейшем случае комплект термоанемометрической аппаратуры включает в себя датчики, термоанемометр, вольтметр постоянного тока, вольтметр переменного тока.

Измерители термоанемометра делают из вольфрамовой либо платиновой нити. Диаметр нити составляет от 2,5 до 12 мкм и длина от 1 до 5 мм. Нить натянута между двумя нетолстыми иглами (рисунок 4.2). С целью замеров в струях с крупными высокоскоростными напорами используют пленочные датчики, для предотвращения разрыва нити. Пленку из вольфрама или платины напыляют на основание корпуса датчика. Толщина пленки 1 - 2 мкм.

Тарировку измерителей как правило выполняют в аэродинамической трубе. Нить датчика располагают перпендикулярно к направлению осредненного течения около насадка Пито - Прантдля, но не вблизи от него. В этом случае особое внимание уделяется на чистоту, отсутствие влаги, пыли, масел в воздухе, который используется для тарировки. Температура потока, в котором тарируется датчик, должна быть постоянной. Замеры демонстрируют, что при измерении температуры газа на 1 К от условий тарировки, приводит к дополнительным погрешностям в измерении скорости на 2 %[6].

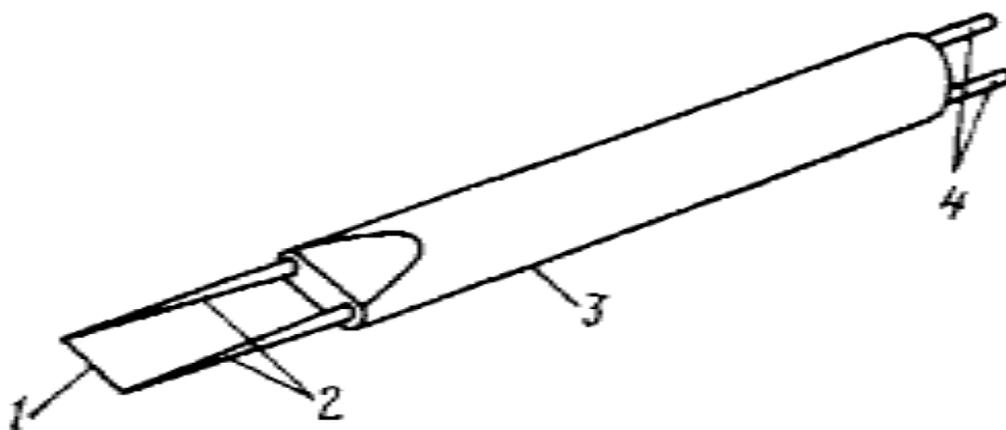


Рисунок 4.2 - Проволочный датчик термоанемометра

1 - нагреваемая нить; 2 - поддерживающие стойки; 3 - корпус; 4 - выходы

В процессе измерения нить измерителя располагают в струе, перпендикулярно к направлению средней скорости. В итоге зная напряжение на выходе из термоанемометра, с помощью тарировочного графика или по формуле (4.2) определяют надлежащую скорость.

## 5 ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ЖИДКОСТИ И ГАЗА

В стационарных измерениях гораздо больше пользуются таким параметром как расход рабочего тела, а не его скорость. Расход жидкости или газа - это объем количества среды, который протекает через сечение канала в единицу времени. Приборами для измерения расхода являются расходомеры и счетчики текучей жидкости или газа.

Расходомеры дают возможность определить расход жидкости или газа в какой-либо период времени и определенный объем вещества. Количественные счетчики измеряют какой объем среды протекает через сечение канала разной ширины, за определенный период времени (смена, сутки). Согласно их показаниям возможно определить расход в виде средней величины за данный период времени.

Существует большое количество способов и их видов для измерения расхода вещества. К таким расходомерам относятся: приборы переменного перепада давления, приборы постоянного перепада давления, тахометрические и калориметрические приборы.

Последние три типа расходомеров дают возможность определить малые расходы порядка  $0,02 \text{ м}^3/\text{ч}$  и менее.

Помимо упомянутых применяют электромагнитные и ультразвуковые расходомеры, хотя и значительно реже.

Электромагнитные расходомеры используют для определения расхода агрессивных и загрязненных токопроводящих жидкостей от 1 до  $2,5 \cdot 10^4 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Ультразвуковые расходомеры предусмотрены для определения расхода жидкостей и газов. Быстродействие электронных расходомеров позволяет определять расходы в потоках с частотой изменения равной до 10 кГц. В данный момент ультразвуковые расходомеры не применили обширного распространения из-за трудности их измерительных методик и средств. Высокой стоимостью, зависимость показаний прибора от параметров измеряемой среды одна из главных причин затруднения измерений.

В процессе лабораторных исследований в некоторых случаях применяют пневмометрические расходомеры, которые основываются на установлении расхода по замерам скорости и плотности потока в одной или нескольких точках сечения канала. Данный метод не относится к числу точных.

Число измеряемой жидкости или газ выражают в объемных или массовых единицах расхода ( $\text{м}^3/\text{с}$  либо  $\text{кг}/\text{с}$  соответственно). Разрешается использовать несистемные единицы расхода:  $\text{кг}/\text{ч}$ ,  $\text{т}/\text{ч}$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ,  $\text{л}/\text{ч}$ .

Обширно распространенным методом считается определение расхода при помощи расходомеров переменного перепада давления. В данной ситуации функции измерителя осуществляют суживающие устройства. Суживающие устройства выполняются в виде диафрагм, суживающих сопел, сопел Вентури. Специализированные устройства, вмонтированные в трубопровод, создают местное сужение, где происходит ускорение потока. Давление же при этом понижается. Полученная этим методом разность давлений для местного сопротивления будет служить мерой скорости потока и расхода вещества.

В настоящее время различают стандартные и нестандартные суживающие устройства. К стандартным суживающим устройствам относятся диафрагмы, суживающие сопла, сопла Вентури. Геометрические характеристики в таких устройствах нормированы [5]. Характеристика расхода выверена опытным путем и с известной точностью может быть рассчитана. Стандартные устройства работают в комплексе с прибором давления, таким как дифманометр - без индивидуальной тарировки.

Все без исключения суживающие приборы, задействованные для измерения расхода, имеют один и тот же принцип работы и одно и то же уравнение расхода, отличающееся только опытными коэффициентами. Уравнение расхода для суживающих устройств и методика пользования им приведены в [5, 6, 7].

Для получения надлежащей точности измерения к суживающим устройствам предъявляют определенные требования. Поток измеряемой среды должен заполнять все поперечное сечение трубопровода. На входе в суживающее устройство поток должен быть установившимся. Для этих целей до и после него размещают прямые участки трубопроводов определенной длины. Методические указания по установке суживающих устройств приведены в Правилах 28-64[5]. Там же рассмотрены основные требования, предъявляемые к геометрии и изготовлению всех типов суживающих устройств.

Стандартные камерные диафрагмы с отбором давления при помощи камеры применяют для измерения расхода среды при рабочем давлении до 10 МПа, бескамерные диафрагмы с отбором давления с помощью отверстий до 2,5 МПа. Первый тип диафрагм устанавливают на трубопроводах диаметром  $D - 50 \div 500$  мм, второй тип - на трубопроводах  $D = 450 \div 1600$  мм.

Стандартные сопла устанавливают на трубопроводах с  $D > 50$  мм. Сопло профилируется по строго определенному закону [5]. Отбор давления может осуществляться с помощью кольцевых камер или отдельных отверстий, к которым представляются те же требования, что и к диафрагмам. Сопла дают возможность определять расход жидкости, пара и газа с наиболее большей точностью, чем диафрагмы. Сопло располагает лучшими рабочими характеристиками. Загрязнение и коррозия слабо влияют на коэффициент расхода сопла. Одним из недостатков сопла стоит отметить сравнительно высокую его стоимость. Сопло Вентури используют как правило в тех случаях, если измерение расхода среды требуется провести с наименьшими потерями давления.

Использование обычных суживающих приборов (диафрагм, суживающих сопел, сопел Вентури) для измерения расхода ограничено поперечными размерами трубопровода ( $D > 50$  мм), а также числом Рейнольдса. При  $Re$  меньше граничного ( $Re_{гр}$ ) коэффициенты расхода

начинают изменяться в зависимости от  $Re$ . Введение соответствующих поправочных множителей к коэффициенту расхода не всегда гарантирует обусловленную точность измерения расхода. В данных вариантах благополучно применяют нестандартные суживающие устройства: двойные диафрагмы и сопла с профилем в четверть круга, которые располагают постоянным коэффициентом расхода в достаточно широком диапазоне изменения числа Рейнольдса - от  $2 \cdot 10^2$  до  $3 \cdot 10^5$ .

Нестандартные суживающие устройства, расходные характеристики которых могут быть определены расчетным путем, предоставляют мало надежные и достоверные результаты. По этой причине уже после их реконструкции необходима индивидуальная тарировка, которая производится в комплексе с прибором давления и прямыми участками трубопроводов. Подробное описание этих средств измерения расхода приведено в [8].

Среднеквадратичная ошибка измерений расхода жидкости и газа с помощью обычных суживающих устройств, удовлетворяющих абсолютно всем требованиям Правил 28-64, в более подходящем случае может быть равна 0,5 - 1,2 %. При вероятности 0,95 она составит для жидкости 1 - 2,4, а для газа 1,3 - 3,5 % при условии, что перепад давления на суживающем устройстве измеряется дифманометром класса 0,5.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

|        |                           |
|--------|---------------------------|
| Группа | ФИО                       |
| 3-5Б12 | КУРАЧ Дмитрию Алексеевичу |

|                     |                |                           |                                |
|---------------------|----------------|---------------------------|--------------------------------|
| Институт            | Энергетический | Кафедра                   | АТЭС                           |
| Уровень образования | Бакалавр       | Направление/специальность | Теплоэнергетика и теплотехника |

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

|  |  |
|--|--|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | 1. Анализ методов и средств измерения давления и скорости рабочего тела на ТЭС |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов   | 2. На основании произведенных расчетов и анализа объектов                      |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования                                  | 3. Коэффициенты и расчеты  |

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| 1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения | 1. Формирование плана.               |
| 2. Планирование и формирование бюджета научных исследований  | 2. Разработка проекта.               |
| 3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования        | 3. Анализ проведенного исследования. |

|   |          |
|---|----------|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> | 10.03.16 |
|---|----------|

**Задание выдал консультант:**

|   |                |                        |         |      |
|---|----------------|------------------------|---------|------|
| Должность                                 | ФИО            | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Старший преподаватель кафедры менеджмента | Н. Г. Кузьмина |                        |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

|        |                          |         |      |
|--------|--------------------------|---------|------|
| Группа | ФИО                      | Подпись | Дата |
| 3-5Б12 | Курач Дмитрий Алексеевич |         |      |

## **6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

### 6.1 Расчет затраченных дней на проектирование и разработку ВКР

Этапы выполнения бакалаврской работы сведены в таблицу 6.1

Таблица 6.1 - Перечень работ и оценка затраченного времени

| Наименование работ   | Продолжительность, дней |              |
|--|-------------------------|--------------|
|  | инженер                 | руководитель |
| 1 Получение задания на выполнение ВКР                                | 1                       | 1            |
| 2 Изучение литературы  | 14                      |              |
| 3 Введение, описание объекта исследования                            | 9                       |              |
| 4 Анализ методов и средств измерения давления рабочего тела на ТЭС   | 11                      |              |
| 5 Анализ методов и средств измерения скорости рабочего тела на ТЭС   | 11                      |              |
| 6 Консультация с преподавателем по ВКР                               | 3                       | 3            |
| 7 Исправление замечаний  | 5                       |              |
| 8 Выполнение графического материала                                  | 6                       |              |
| 9 Проверка выпускной квалификационной работы, графического материала |                         | 2            |
| 10 Итого   | 60                      | 6            |

### 6.2 Расчет затрат на проект

$$K_{\text{пр}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{з.п.}} + I_{\text{с.о.}} + I_{\text{пр}} + I_{\text{накл}}, \quad (6.1)$$

где  $I_{\text{мат}}$  - материальные затраты, руб.;  $I_{\text{ам}}$  - затраты на амортизацию, руб.;  $I_{\text{з.п.}}$  - затраты на заработную плату, руб.;  $I_{\text{с.о.}}$  - затраты на социальные отчисления, руб.;  $I_{\text{пр}}$  - затраты на прочие нужды, руб.;  $I_{\text{накл}}$  - накладные расходы, руб.

#### 6.2.1 Материальные затраты

В ходе выполнения ВКР были затрачены: бумага и краска для принтера, бумага для черновиков, канцелярские товары.

Материальные затраты составили:  $I_{\text{мат}} = 3000$  руб.

### 6.2.2 Амортизационные затраты

Расчет амортизационных затрат рассчитываются по формуле:

$$I_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{т}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}} \quad (6.2)$$

где  $C_{\text{т}} = 60$  тыс.руб., – стоимость компьютера;  $T_{\text{исп}} = 57$  дней – время использования;  $T_{\text{сл}} = 8$  лет – срок службы компьютера;  $T_{\text{кал}} = 365$  дней – количество дней в году.

Тогда:

$$I_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{т}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}} = \frac{57}{365} \cdot 60000 \cdot \frac{1}{8} = 1171,2 \text{ руб.}$$

### 6.2.3 Расчет затрат на заработную плату

Заработная плата инженера:

$$I_{\text{з.п}}^{\text{мес.и}} = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (6.3)$$

где  $ЗП_0$  - месячный оклад;  $K_1$  - коэффициент на отпуск (10% от  $ЗП_0$ );  $K_2$  районный коэффициент (30% от  $ЗП_0$ ).

Тогда:

$$I_{\text{з.п}}^{\text{мес.и}} = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2 = 14500 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 20735 \text{ руб.},$$

За разработку проекта:

$$I_{\text{зп}}^{\text{и}} = \frac{I_{\text{з.п}}^{\text{мес.и}}}{21} \cdot n, \quad (6.4)$$

где  $n$  - количество дней.

Тогда:

$$I_{\text{зп}}^{\text{и}} = \frac{20735}{21} \cdot 60 = 59242,86 \text{ руб.},$$

Заработная плата научного руководителя:

$$I_{\text{з.п}}^{\text{мес.н.р}} = (ЗП_0 \cdot K_1 + Д) \cdot K_2, \quad (6.5)$$

где  $Д$  - доплата в рублях.

Тогда:

$$I_{3.п}^{\text{мес.н.р}} = (ЗП_о \cdot \kappa_1 + Д) \cdot \kappa_2 = (23300 \cdot 1,1 + 2200) \cdot 1,3 = 36179 \text{ руб.},$$

Заработная плата за руководство разработки проекта будет составлять

$$I_{зп}^{\text{н.р}} = \frac{I_{3.п}^{\text{мес.н.р}}}{21} \cdot n. \quad (6.6)$$

Тогда:

$$I_{зп}^{\text{н.р}} = \frac{I_{3.п}^{\text{мес.н.р}}}{21} \cdot n = \frac{36179}{21} \cdot 6 = 10336,857 \text{ руб.}$$

Месячные затраты на заработную плату составят:

$$I_{зп} = \Phi ЗП = I_{3.п}^{\text{и}} + I_{3.п}^{\text{н.р}}. \quad (6.7)$$

Тогда:

$$I_{зп} = \Phi ЗП = I_{3.п}^{\text{и}} + I_{3.п}^{\text{н.р}} = 59242,86 + 10336,857 = 69579,72 \text{ руб.}$$

#### 6.2.4 Затраты на социальные отчисления

$$I_{со} = 30\% \cdot \Phi ЗП. \quad (6.8)$$

Тогда:

$$I_{со} = 30\% \cdot \Phi ЗП = 0,3 \cdot 69579,72 = 20873,92 \text{ руб.}$$

#### 6.2.5 Затраты на прочие расходы

$$I_{пр} = 10\% \cdot (I_{мат} + I_{ам} + I_{зп} + I_{со}). \quad (6.9)$$

Тогда:

$$I_{пр} = 10\% \cdot (I_{мат} + I_{ам} + I_{зп} + I_{со}) = 0,1 \cdot (3000 + 1171,2 + 59242,86 + 36179) = 9959,3 \text{ руб.}$$

#### 6.2.6 Накладные расходы

$$I_{со} = 200\% \cdot \Phi ЗП. \quad (6.10)$$

Тогда

$$I_{со} = 200\% \cdot \Phi ЗП = 2 \cdot 69579,72 = 139159,44 \text{ руб.}$$

Затраты на проект составили

$$K_{\text{пр}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{зп}} + I_{\text{со}} + I_{\text{пр}} + I_{\text{накл}} = 3000 + 1171,2 + (59242,86 + 10336,857) + 20873,92 + 9959,3 + 139159,44 = 243743,5 \text{ тыс.руб.}$$

Итоги расчета затрат на ВКР сведены в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 - Сведение расчетных данных

| Наименование затрат            | Сумма, руб. |
|--------------------------------|-------------|
| Материальные затраты           | 3000        |
| Амортизация                    | 1171,2      |
| Затраты на оплату труда        | 69579,72    |
| Отчисления на социальные нужды | 20873,92    |
| Прочие расходы                 | 9959,3      |
| Накладные расходы              | 139159,44   |
| Итого                          | 243743,5    |

В результате расчета было установлено, что суммарные затраты на разработку ВКР составили 243743,5 рубля.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

**Студенту:**

|        |                           |
|--------|---------------------------|
| Группа | ФИО                       |
| 3-5Б12 | КУРАЧ Дмитрию Алексеевичу |

|                     |                |                               |  |
|---------------------|----------------|-------------------------------|--|
| Институт            | Энергетический | Кафедра                       | АТЭС                                       |
| Уровень образования | Бакалавр       | Направление/<br>специальность | 13.03.01.Теплоэнергетика и<br>теплотехника |

|   |  |
|---|--|
| <b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>  |  |
| 1. Характеристика объекта исследования и области его применения   | <i>Объект исследования - ТЭС: территориальность не рассматривается.<br/>Оказывается негативное воздействие на окружающую среду.<br/>Возможно возникновение чрезвычайных ситуаций техногенного, стихийного, экологического и социального характера</i>                        |
| 2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме  | Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008г (ред. от 10.07.2012г) «технический регламент о требованиях к пожарной безопасности».<br>Федеральный закон №184-ФЗ "О техническом регулировании" от 27 декабря 2002 года.<br><br>Федеральный закон N 426-ФЗ от 28 декабря 2013 года |
| <b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>   |  |
| 1. Анализ вредных факторов производственной среды:<br>- физико-химическая природа вредности;<br>- действие фактора на организм человека;<br>- предлагаемые средства защиты.   | <i>Вредные факторы</i><br><br>1. Физические факторы;<br>2. Аэрозоли;<br>3. Виброакустические факторы.  |
| 2. Анализ выявленных опасных факторов производственной среды:<br>- механические опасности (источники и средства защиты);<br>- термические опасности (источники и средства защиты);<br>- электробезопасность;<br>- Взрывоопасность и пожаробезопасность (причины, профилактические мероприятия и первичные средства пожаротушения) | <i>Опасные факторы</i><br>1. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования (в т.ч. грузоподъемные)<br>2. Повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов<br>3. Взрывоопасность и пожароопасность<br>4. Электрический ток          |

|  |   |
|--|---|
| <p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защита селитебной зоны</li> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу;</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу;</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу;</li> <li>- решения по обеспечению экологической безопасности.</li> </ul>   | <p>Воздействие на окружающую среду при эксплуатации ТЭС:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- загрязнением атмосферного воздуха выбросами;</li> <li>- нарушением гидрогеологического режима;</li> <li>- загрязнением поверхностных водных источников и подземных вод;</li> <li>- повреждением почвенно-растительного покрова.</li> </ul>  |
| <p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul> | <p>Чрезвычайные ситуации на ТЭС могут возникнуть в результате взрыва парового котла или паротурбинной установки.</p>  |
| <p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок.</li> <li>2. Правила техники безопасности при эксплуатации теплотехнического оборудования электростанций и тепловых сетей. РД 34.03.201-97.</li> <li>3. Правила противопожарного режима в Российской Федерации. Утверждены постановлением правительства РФ от 25.04.2012г № 390.</li> <li>4. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской</li> </ol> |
| <p><b>Перечень графического материала:</b></p>   |   |
| <p>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</p>  |   |

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

| Должность                              | ФИО                           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--|-------------------------------|------------------------|---------|------|
| доцент кафедры экологии и безопасности | Гусельников Михаил Эдуардович | к.т.н., доцент         |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                      | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|------|
| 3-5Б12 | Курач Дмитрий Алексеевич |         |      |

## 7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

### 7.1 Производственная безопасность

#### 7.1.1 Физические факторы

Физические факторы производственной среды включают в себя механические, состояние воздушной среды, шум и вибрация, электробезопасность, освещенность, повышенные уровни ультрафиолетовой и инфракрасной радиации, ионизирующих излучений в рабочей зоне.

При производстве тепловой и электрической энергии на КЭС, ТЭЦ и котельных присутствуют вредные и опасные факторы такие как:

1. Механические опасные факторы – движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования, согласно ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. Движущиеся части производственного оборудования являются источником травмоопасности.

Безопасность конструкции производственного оборудования обеспечивается:

- выбором принципов действия и конструктивных решений, источников энергии и характеристик энергоносителей, параметров рабочих процессов, системы управления и ее элементов;
- минимизацией потребляемой и накапливаемой энергии при функционировании оборудования;
- выбором комплектующих изделий и материалов для изготовления конструкций, а также применяемых при эксплуатации;
- выбором технологических процессов изготовления;
- надежностью конструкции и ее элементов;
- применением средств механизации, автоматизации, дистанционного управления и контроля;
- возможностью использования ограждения и индивидуальных средств защиты;

- ограничением физических и нервнопсихических нагрузок на работающих;

- применением встроенных в конструкцию средств защиты работающих, а также средств информации, предупреждающих о возникновении опасных ситуаций.

2. Термические опасные факторы – повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов

- источником опасности является микроклимат в производственных помещениях:

- температура воздуха;

- температура поверхностей стен, полов и потолка и устройств ограждающих конструкций оборудования;

- относительная влажность и скорость движения воздуха; интенсивность теплового облучения.

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

В целях защиты работающих от возможного перегревания или охлаждения при температуре воздуха на рабочих местах выше или ниже допустимых величин время пребывания на рабочих местах ограничено. При этом среднесменная температура воздуха, при которой работающие находятся в течение рабочей смены на рабочих местах и местах отдыха, не выходит за пределы допустимых величин температуры воздуха для соответствующих категорий работ.

3. Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и

опасного для жизни воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества. Опасность поражения электрическим током, в отличие от прочих опасностей, усугубляется тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить напряжение дистанционно.

Небезопасное и вредоносное влияние на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляются в виде электротравм и профессиональных заболеваний. Уровень опасного и вредоносного воздействия на человека электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей зависит от:

- рода и величины напряжения и тока;
- частоты электрического тока;
- пути тока через тело человека;
- продолжительности воздействия электрического тока или электромагнитного поля на организм человека;
- условий внешней среды.

Электробезопасность обеспечивается конструкцией электроустановок, техническими способами и мероприятиями, средствами защиты.

Электроустановки и их части выполнены таким образом, чтобы работающие не подвергались опасным и вредным воздействиям электрического тока и электромагнитных полей, и соответствовать требованиям электробезопасности.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

Защитная оболочка - мероприятие для защиты от прикосновения к токоведущим частям путем покрытия токоведущих частей приспособлениями, обеспечивающими полную защиту от прикосновения.

Защитное ограждение - мероприятие для защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям путем ограждения токоведущих

частей приспособлениями, обеспечивающими частичную защиту от прикосновения.

Изоляция рабочего места - способ защиты, основанный на изоляции рабочего места (пола, площадки, настила и т.п.) и токопроводящих частей в области рабочего места, потенциал которых отличается от потенциала токоведущих частей и прикосновение к которым является предусмотренным или возможным.

4. Освещенность – отсутствие или недостаток естественного света; недостаточная освещенность рабочей зоны

Для оптимизации условий труда большое значение имеет освещение рабочих мест. Задачи организации освещенности рабочих мест – обеспечение различаемости рассматриваемых предметов, уменьшение напряжения и утомляемости органов зрения. Производственное освещение имеет правильное направление светового потока, исключаящее слепящее действие света и образование резких теней.

Качественный показатель световой среды – коэффициент пульсации освещенности – это критерий оценки изменений колебаний освещенности, формируемый осветительной конструкцией, во времени.

Требования к коэффициенту пульсации освещенности для рабочих зон с ПЭВМ — не более 5%; Для иных типов работ величина коэффициента пульсации не более 15%. Для самых грубых зрительных работ допускается не более 20%.

Способы снижения коэффициента пульсации освещенности:

- подсоединение простых светильников на разные фазы трехфазной сети либо монтаж на их место новых светильников, которые будут оснащены электронным пускорегулирующим аппаратом (ЭПРА);

- подключение двух ламп в светильнике со сдвигом. Одну лампу питают отстающим током, другую опережающим. Для этого в светильник устанавливаются компенсирующие пускорегулирующие аппараты;

- использование светильников и ламп от переменного тока частотой 400 Гц и выше.

#### 7.1.2. Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия (АПФД)

При проектировании производственных зданий, оборудования, вентиляции, технологических процессов учитываются ПДК. Это обеспечивает безопасность производственной среды и профилактику неблагоприятного воздействия АПФД на здоровье работников.

Средства индивидуальной защиты – респираторы, специальные шлемы и скафандры с подачей в них чистого воздуха применяются в тех случаях, когда не удастся снизить запыленность воздуха в рабочей зоне до допустимых пределов, защитные очки, специальная противопылевая одежда, защитные пасты и мази. Самый эффективный способ борьбы с АПФД – это увлажнение пыли или использование кожухов, система аспирации – это пылеотсасывающая вентиляция, удаляющая воздуха с содержанием пыли более 1 кг в 1 м<sup>3</sup>.

#### 7.1.3. Виброакустические факторы

Вредное воздействие шума:

- сердечно-сосудистая система;
- нервная система;
- органы слуха (барабанная перепонка).

Мероприятия по борьбе с шумом:

I группа – Строительно-планировочная (использование определенных строительных материалов);

II группа - Конструктивная (установка звукоизолирующих преград);

III группа – Снижение шума в источнике его возникновения (снижение шума в источнике его возникновения, т.е использование композитных материалов);

IV группа - Организационные мероприятия (режима труда и отдыха).

Вибрация - механические колебания материальных точек или тел.  
Причина появления вибрации - неуравновешенное силовое воздействие.

Воздействия на здоровье человека:

- повреждения различных органов и тканей;
- влияние на центр. нервную систему;
- влияние на органы слуха и зрения;
- повышение утомляемости.

Методы снижения вибрации:

Снижение вибрации методом виброгашения - подбор определенных видов материалов, виброизоляция. Организация режима труда и отдыха. В качестве средств индивидуальной защиты - защита опорных поверхностей.

#### 7.1.4 Взрывоопасность и пожароопасность

Пожар – это горение вне специального очага, которое не контролируется и может привести к массовому поражению и гибели людей, а также к нанесению экологического, материального и другого вреда.

При возникновении пожара и его тушении персонал подвергается воздействию дыма с высоким содержанием окиси углерода, термическим ожогам.

Для предотвращения пожаров предпринимают следующие меры:

- строительно-планировочные – определяются огнестойкостью зданий и сооружений (выбор материалов конструкций т.е. сгораемые, негораемые, трудно сгораемые) и пределом огнестойкости - это количество времени, в течение которого под воздействием огня не нарушается несущая способность строительных конструкций вплоть до появления первой трещины.;

- технические – использование разнообразных защитных систем, соблюдение параметров технологических процессов и режимов работы оборудования, соблюдение противопожарных норм при эвакуации;

- организационные – обучение по пожарной безопасности, соблюдение пожарной безопасности

Средства индивидуальной защиты людей обеспечивают безопасность в течение времени, необходимого для эвакуации людей в безопасную зону, или в течение времени, необходимого для проведения специальных работ по

тушению пожара. Средства индивидуальной защиты людей применяются для защиты эвакуируемых и спасаемых людей, так и для защиты пожарных, участвующих в тушении пожара.

Взрыв – быстрое химическое превращение среды, сопровождающееся выделением энергии и образованием сжатых газов.

Взрывоопасность – совокупность факторов, обуславливающих возможность образования взрывоопасной среды в объеме, превышающем 5% свободного объема помещения, и ее воспламенения.

Предотвращение образования взрывоопасной среды и обеспечение в воздухе производственных помещений, содержания взрывоопасных элементов, не превышающего нижнего концентрационного предела воспламенения с учетом коэффициента безопасности, достигается путем:

- применением герметичного производственного оборудования;
- использованием рабочей и аварийной вентиляции;
- отводом, удалением взрывоопасной среды и веществ, способных послужить причиной ее образованию;
- контролирование состава воздушной среды и отложений взрывоопасной пыли.

## 7.2. Охрана окружающей среды. Воздействие на окружающую среду при эксплуатации ТЭЦ, КЭС.

Тепловые электрические станции – объект производства тепловой и электрической энергии с образованием отходов производства материальных и энергетических, оказывающих негативное воздействие на природную среду. Загрязнение окружающей среды происходит в результате реализации основных и вспомогательных процессов на ТЭС.

### 7.2.1. Загрязнение атмосферного воздуха выбросами

Выбросы в атмосферу складываются из ряда факторов, связанных с технологией производства:

- при осуществлении транспортировки и разгрузки хранения и перевалки топлива на складе, а также подача топлива на сжигание в котлах – углеводороды и угольная пыль;

- при сжигании топлива и технической эксплуатации котлов (очистка поверхностей нагрева) – окислы азота, серы углерода угольная и мазутная зола, пентаксид ванадия, бензапирен;

при продувке паропроводов и охлаждении циркуляционной воды в градирнях или брызгательных бассейнах – водяной пар

### 7.2.2. Нарушение гидрогеологического режима

Создание водохранилищ в долинах рек или с использованием естественного рельефа поверхности, создание искусственных прудов охладителей, вызывает:

- изменение качественного и количественного состава речных стоков;
- изменение гидрологии водного бассейна;
- увеличение давления на дно, проникновение влаги в разломы земной коры и изменение сейсмичности;

- изменение условий рыболовства, развития планктона и водной растительности;

- изменение микроклимата;

- изменения условий отдыха, спортивных занятий, бальнеологических и других факторов водной среды.

Примеси в стоках от ТЭС могут суммарно воздействовать на естественный круговорот и материальные балансы веществ между гидро -, лито- и атмосферой.

### 7.2.3. Загрязнение поверхностных водных источников и подземных вод

Для сокращения водопотребления и сброса сточных вод наиболее перспективны следующие направления:

- максимальное применение систем оборотного водопользования;

- уменьшение потерь воды при её использовании в нескольких технологических циклах;

- применение современных методов обработки воды;

#### 7.2.4. Повреждение почвенно-растительного покрова

Организация золоотвалов для складирования золы и шлака производится выработкой и затоплением земляного покрова помимо этого происходит выброс в атмосферу водяного пара и золошлаковых отходов на рельеф. На золоотвалах ТЭС России скопилось огромное количество золошлаков, хранение которых – экологическая проблема. Один из путей решения этой проблемы может стать использование золы и шлака в различных отраслях хозяйства. Отработанные и законсервированные золоотвалы, могут стать сырьевой базой ценных материалов для различных отраслей народного хозяйства.

#### 7.3. Защита в чрезвычайных ситуациях

Взрыв парового котла на энергетическом предприятии происходит в результате нарушения правил Ростехнадзора ПБ-10- 115-06 «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением выше 0,7 МПа, а также на водогрейные котлы с температурой подогрева воды выше 115°С»,– 06. Эти правила распространяются на стационарные и передвижные паровые котлы, паронагреватели водяные экономайзеры.

Последствия в случае взрывов паровых котлов:

- обрушения конструкций построек;
- разрушения за пределами построек;
- тяжелые и летальные несчастные случаи.

Для предотвращения взрыва, паровой котел до ввода в эксплуатацию предъявляют Ростехнадзору с целью регистрации. При этом обязательно предъявление технической документация на котел, котельное помещение, акт о качестве монтажа котла и лабораторный анализ воды, используемой для его подпитки.

За период эксплуатации котла проводятся технические освидетельствования парового котла после ремонта или пуска в работу после консервации, а также окончания гарантийного срока эксплуатации. Цель

освидетельствования выполняемого Ростехнадзором, установить безопасность его эксплуатации. Осмотр и проверку котлов выполняют посредством внутреннего их осмотра и гидравлического испытания. При осмотре обследуется состояние стенок котла, швов, труб, вспомогательных механизмов и контрольно-измерительных приборов.

Котлы оснащаются системами безопасности, например предохранительными клапанами которые проектируются на защиту котлов от превышения расчётного давления более 10%. Паровые котлы с камерным сжиганием горючего оснащают автоматическим механизмом, который запрещает подачу топлива к горелкам при снижении уровня воды в барабане ниже предельно допустимого. Котлы, работающие на газообразном горючем, имеют автоматическое устройство, прекращающее подачу газа в горелки при падении давления воздуха ниже допустимого.

#### 7.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Для обеспечения безопасности рабочей зоны и персонала, на предприятиях проводится аттестация рабочих мест, разрабатываются инструкции по охране труда и промышленной безопасности по каждому рабочему месту.

По результатам проведения исследований (испытаний) и измерений вредных и (или) опасных производственных факторов экспертом организации, проводящей специальную оценку условий труда, осуществляется отнесение условий труда на рабочих местах по степени вредности и (или) опасности к классам (подклассам) условий труда.

Организация, проводящая специальную оценку условий труда, составляет отчет о ее проведении, в который включаются следующие результаты проведения специальной оценки условий труда:

- перечень рабочих мест, на которых проводилась специальная оценка условий труда, с указанием вредных и (или) опасных производственных факторов, которые идентифицированы на данных рабочих местах;
- карты специальной оценки условий труда, содержащие сведения об

установленном экспертом организации, проводящей специальную оценку условий труда, классе (подклассе) условий труда на конкретных рабочих местах;

- перечень мероприятий по улучшению условий и охраны труда работников, на рабочих местах которых проводилась специальная оценка условий труда;

- заключения эксперта организации, проводящей специальную оценку условий труда.

На предприятиях разрабатываются и утверждаются программы проведения вводного и первичного инструктажей. Вновь принятые работники в обязательном порядке проходят вводный инструктаж при приеме на работу, в котором изучают характерные черты производства и единые данные о компании, а также:

1. Ключевые утверждения законодательства об охране труда.
2. Несчастные случаи на производстве.
3. Электробезопасность; Пожарная безопасность.
4. Оказание доврачебной помощи пострадавшим от действия электрического тока, при ранении, кровотечении, ожогах и обморожениях.
5. Первая помощь при переломах, вывихах, ушибах, растяжении связок.
6. Первая помощь при попадании инородных тел.
7. Первая помощь при обмороке, тепловом и солнечном ударах и отравлениях.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В процессе исследования бакалаврской работы были рассмотрены прямые и косвенные методы измерения давления рабочего тела в элементах оборудования ТЭС, деформационные и электрические приборы измерения давления и способы их обслуживания на ТЭС. Убедились, что в данный момент на тепловых электростанциях больше всего используется прямой метод измерения давления.

Был рассмотрен пневмометрический метод измерения скорости жидкости и газа, в зависимости от различных значений числа Маха. Был проведен анализ расчета числа Маха, а так же затронут метод измерения скорости рабочей среды термоанемометром и приборы для определения расхода жидкости и газов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хансуваров К. И., Цейтлин В. Г. Техника измерения давления, расхода, количества и уровня жидкости, газа и пара: Учебное пособие для техникумов. - М.: Издательство стандартов, 1990. 287 с.,ил.
2. Мухин В. С., Саков И. А. Приборы контроля и средства автоматизации тепловых процессов: Учеб. пособие для СПТУ.-М.: Высш. шк., 1988.-256 с.: ил.
3. Горлин С. М., Слезингер И. И. Аэромеханические измерения. - М.: Наука, 1964., 720 с.
4. Модельная Аэродинамическая Установка / Институт Теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича - Новосибирск 2009 - 48 с.
5. Дунаев Ю.А. Аэрофизические исследования сверхзвуковых течений. - М., - Л.: Наука, 1967. – 302 с
6. Повх И. Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении. - Л.: Машиностроение, 1974. 479 с.
7. Правила 28 - 64. Измерение расходов жидкостей, газов, паров стандартными диафрагмами и соплами.-М.: Изд-во стандартов, 1964. 148 с.
8. Кремлевский П. П, Расходомеры и счетчики количества, 3-е изд. - Л.: Машиностроение, 1975. 776 с.
9. Преображенский В. П. Теплотехнические измерения и приборы. 3-е изд.- М.: Энергия, 1978. 703 с.
10. Миронов К. А., Шипетин Л. И. Теплотехнические измерительные приборы.- М.: Машгиз, 1958. 896 с.
11. Коршунова Л.А., Кузьмина Н.Г. Менеджмент в энергетике (Экономика и управление энергетическими предприятиями) Учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 188 с.
12. ГОСТ 12.1.003 - 83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
13. ГОСТ 12.2.003 - 91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.