

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

Институт Электронного обучения  
Специальность Информационно-измерительная техника и технологии  
Кафедра Физических методов и приборов контроля качества

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ**

| Тема работы                                                                            |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Разработка информационно-измерительного комплекса для поверки датчиков давления</b> |  |

УДК 620.165.29

Студент

| Группа | ФИО           | Подпись | Дата |
|--------|---------------|---------|------|
| 3-1401 | Никитина З.Ш. |         |      |

Руководитель

| Должность         | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------|---------------|------------------------|---------|------|
| Ст. преподаватель | Степанов А.Б. |                        |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Конструкторско-технологическая часть»

| Должность         | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------|---------------|------------------------|---------|------|
| Ст. преподаватель | Степанов А.Б. |                        |         |      |

По разделу «Расчет надежности»

| Должность         | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------|---------------|------------------------|---------|------|
| Ст. преподаватель | Степанов А.Б. |                        |         |      |

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------|------------------------|---------|------|
| Доцент    | Петухов О.Г. | К.Э.Н.                 |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО            | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------|------------------------|---------|------|
| Ассистент | Кырмакова О.С. |                        |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Зав. кафедрой | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------|---------------|------------------------|---------|------|
| ФМПК          | Суржиков А.П. | д.ф.-м.н., профессор   |         |      |

Томск – 2016 г.

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

Институт электронного обучения

Направление подготовки (специальность) ИИТТ

Кафедра ФМПК

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Дипломного проекта/работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

| Группа | ФИО            |
|--------|----------------|
| 3-1401 | Никитиной З.Ш. |

Тема работы:

Разработка информационно-измерительного комплекса для поверки датчиков давления

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*

Разработать информационно-измерительный комплекс для поверки двух датчиков ДМ5001 с использованием эталонного датчика. Режим работы периодический 8 часов в сутки. Комплекс должен эксплуатироваться в нормальных условиях.

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

*(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).*

Аналитический обзор литературных источников. Разработка структурной и принципиальной схемы комплекса для поверки датчиков давления. Разработка конструкции.

|                                                                                                    |                                     |                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Перечень графического материала</b><br><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>        |                                     | Чертеж общего вида.<br>Чертеж печатной платы.<br>Чертеж нестандартной детали. |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b><br><i>(с указанием разделов)</i> |                                     |                                                                               |
| <b>Раздел</b>                                                                                      | <b>Консультант</b>                  |                                                                               |
| «Социальная ответственность»                                                                       | Кырмакова О.С. Ассистент            |                                                                               |
| «Финансовый Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»                                  | Петухов О.Н. Доцент                 |                                                                               |
| «Конструкторско-технологическая часть»                                                             | Степанов А.Б. Старший преподаватель |                                                                               |
| «Расчет надежности»                                                                                | Степанов А.Б. Старший преподаватель |                                                                               |

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

**Задание выдал руководитель:**

| Должность             | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|---------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Степанов А.Б. |                        |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО           | Подпись | Дата |
|--------|---------------|---------|------|
| 3-1401 | Никитина З.Ш. |         |      |

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| Группа | ФИО                         |
|--------|-----------------------------|
| 3-1401 | Никитина Зарина Шавкатовна. |

| Институт            | ИНЭО        | Кафедра                   | ФМПК |
|---------------------|-------------|---------------------------|------|
| Уровень образования | специалитет | Направление/специальность | ИИТТ |

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

|                                                                                                                                |                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения | Рабочим местом является поверочная лаборатория.<br>. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|

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

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul> | <p>При работе в поверочной лаборатории с автоматизированным поверочным комплексом к физическим вредным производственным факторам относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Повышенный уровень электромагнитного излучения;</li> <li>-Электростатическое поле</li> <li>-Повышенный уровень шума;</li> <li>-Повышенный уровень напряжения, поражение электрическим током</li> <li>- Неблагоприятные условия микроклимата.</li> </ul> <p>К физическим опасным производственным факторам при работе с автоматизированным поверочным комплексом относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- мощность комплекса 630кВт</li> <li>- напряжение в электрической сети 220/380 В</li> </ul> <p>это может привести к поражению электричеством при неправильной эксплуатации;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- опасность возникновения пожара</li> </ul> |
| <p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <p>На манометровом заводе в результате проводимых работ периодически образуются утечка газа и углеводорода, что загрязняет окружающую среду.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul> | <p>Наиболее типичной ЧС на объекте является пожар.<br/>Оценка пожарной безопасности.<br/>Разработка мероприятий по устранению и предупреждению пожаров</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>                                             | <p>Правовые вопросы безопасности труда обеспечивает Конституция страны, которая гарантирует права граждан на труд, отдых, охрану здоровья, материальное обеспечение в старости, при полной или частичной нетрудоспособности. В статьях этого документа отражены вопросы создания безопасных условий труда: режимы труда и отдыха при проведении различных работ, гарантии и компенсации для трудящихся во вредных условиях, особенности использования труда женщин и молодежи, компенсации в связи с несчастными случаями, законодательства о труде и ряд других.</p> <p>В действующий в настоящее время «Кодекс законов о труде РФ» включены основные требования, направленные на создание здоровых и безопасных условий труда. Действующее законодательство защищает беременных женщин, работающих на предприятиях, в учреждениях, организациях. Система предусмотренных прав и льгот, должна создать условия, при которых беременная женщина, не прекращая трудовую деятельность, заботится о здоровье будущего ребенка.</p> |

|                                                      |  |
|------------------------------------------------------|--|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику |  |
|------------------------------------------------------|--|

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО            | Ученая<br>степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------|------------------------------|---------|------|
| Ассистент | Кырмакова О.С. |                              |         |      |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 3-1401 | Никитина Зарина Шавкатовна. |         |      |

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

Студенту:

| Группа | ФИО                        |
|--------|----------------------------|
| 3-1401 | Никитина Зарина Шавкатовна |

| Институт            | Электронного обучения | Кафедра                   | ФМПК |
|---------------------|-----------------------|---------------------------|------|
| Уровень образования | специалитет           | Направление/специальность | ИИТТ |

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

|                                                                                                                                             |                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | ... Финансовые ресурсы – 168845,31 руб.<br><br>Человеческие ресурсы - 3 чел. |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>                                                                                           | ...                                                                          |
| 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>                                  | ...                                                                          |

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

|                                                                                                                    |                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>                                                     | ... 1. Формирование плана работ по разработке проекта.<br>2. Расчет сметы затрат на создание проекта.<br><br>3. Оценка эффективности работы. |
| 2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>                                                            | ...                                                                                                                                          |
| 3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i> | ...                                                                                                                                          |
| 4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>                                           | ...                                                                                                                                          |

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

|                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------|
| 1. <i>«Портрет» потребителя результатов НТИ</i>                          |
| 2. <i>Сегментирование рынка</i>                                          |
| 3. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>               |
| 4. <i>Диаграмма FAST</i>                                                 |
| 5. <i>Матрица SWOT</i>                                                   |
| 6. <i>График проведения и бюджет НТИ</i>                                 |
| 7. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i> |
| 8. <i>Потенциальные риски</i>                                            |

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------|------------------------|---------|------|
| Доцент    | Петухов О.Н. | Кандидат               |         |      |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО                        | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------|
| 3-1401 | Никитина Зарина Шавкатовна |         |      |

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа содержит 95 страниц текста, 26 рисунков, 13 таблиц, 19 литературных источников, 4 приложения.

Ключевые слова: манометр, датчик, давление, поверка, калибровка.

Объектом исследования являются методы и средства поверки датчиков давления.

Цель работы – разработка информационно-измерительного комплекса для поверки датчиков давления.

В ходе работы был произведен технический обзор современных методов и средств поверки и калибровки датчиков давления. Был выполнен обзор нормативно-технической документации.

В результате был разработан автоматизированный информационно-измерительный комплекс для поверки датчиков давления ДМ5001 с применением эталонного датчика ДМ5002 с передачей данных для последующего анализа и хранения.

## Оглавление

|                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Введение.....                                                                                                         | 10  |
| 1 Характеристика объекта измерения.....                                                                               | 11  |
| 1.1 Основные понятия и определения.....                                                                               | 12  |
| 1.2 Единицы измерения давления .....                                                                                  | 12  |
| 2 Автоматизированные системы поверки и калибровки средств измерения давления.....                                     | 14  |
| 2.1 Основные понятия и определения.....                                                                               | 14  |
| 2.2 Виды поверок. ....                                                                                                | 15  |
| 2.3 Классификация методов поверки средств измерений.....                                                              | 15  |
| 2.4 Нормативные документы в области поверки средств измерений.....                                                    | 16  |
| 2.5 Классификация измерительных преобразователей давления.....                                                        | 16  |
| 2.6 Классификация систем для поверки и калибровки датчиков давления. ....                                             | 22  |
| 2.7 Системы поверки и калибровки датчиков давления .....                                                              | 22  |
| 3 Выбор и обоснование структурной схемы информационно-измерительного комплекса для поверки датчиков давления. ....    | 37  |
| 4 Выбор и обоснование принципиальной схемы информационно-измерительного комплекса для поверки датчиков давления. .... | 39  |
| 5 Анализ надежности.....                                                                                              | 64  |
| 6 Анализ погрешности.....                                                                                             | 71  |
| 7 Конструкторско-технологическая часть .....                                                                          | 11  |
| Общие технические требования к ПП.....                                                                                | 11  |
| Расчет конструктивных и электрических параметров печатной платы.....                                                  | 12  |
| 8 Социальная ответственность.....                                                                                     | 15  |
| 9 Экономическая часть ВКР.....                                                                                        | 90  |
| 10 Заключение .....                                                                                                   | 102 |
| 11 Список использованных источников .....                                                                             | 103 |

## **Введение**

К основным параметрам, которые нужно контролировать в технологических процессах практически всех отраслей промышленности, безусловно относится давление. Это касается предприятий топливно-энергетического комплекса, нефтедобывающей и перерабатывающей промышленности, машиностроения, металлургии, пищевой и медицинской промышленности и других отраслей народного хозяйства.

Недостаточное внимание к контролю данного параметра может вызывать нарушения течения технологического процесса на промышленных предприятиях, что может привести к авариям, зачастую с тяжелыми последствиями. Поэтому современная промышленность, да и научная сфера остро нуждается в точных и надежных приборах измерения давления.

С развитием экономики потребность в таких приборах постоянно нарастает, и одновременно повышаются требования к проведению качественной и своевременной поверке датчиков давления. При этом все большую роль играет автоматизация этого процесса.

Автоматизация - это применение комплекса средств, позволяющих осуществлять производственные процессы без непосредственного участия человека, но под его контролем. По сравнению с ручной поверкой – автоматизация, безусловно, имеет ряд преимуществ, прежде всего это устранение различных ошибок, связанных с субъективными причинами (т. н. «человеческий фактор»), кроме того, автоматизация призвана повышать производительность труда поверителя. За то время, что требуется для поверки одного прибора в ручном режиме, при автоматизированном процессе поверяются несколько со снижением процента ошибок.

Современные средства автоматизации доступные на рынке, которые нам удалось проанализировать, либо достаточно дороги и сложны в использовании, либо не обеспечивают нужную точность измерений. Некоторые из них не

обеспечивают достаточный уровень автоматизации (например, требуют ручной подачи давления).

Таким образом, разработка простого в использовании, недорогого и точного автоматизированного информационно-измерительного комплекса для поверки датчиков давления является актуальной инженерной задачей, решению которой и посвящена данная выпускная работа.

Целью работы является разработка информационно-измерительного комплекса для поверки датчиков давления, согласно полученного ТЗ.

Для достижения цели работы необходимо решить следующие **задачи**:

1. Провести анализ современных методов поверки и калибровки средств измерений давления;
2. Разработать структурную схему проектируемого устройства, согласно полученного ТЗ;
3. Осуществить обоснованный выбор элементной базы проектируемого устройства;
4. Разработать принципиальную схему устройства;
5. Разработать конструкцию устройства;
6. Провести расчет экономической эффективности проекта;
7. Оценить безопасность разработки данного устройства.

# 1 Характеристика объекта измерения

## 1.1 Основные понятия и определения

Давление ( $p$ ) определяют как отношение силы ( $F$ ), которая действует перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности( $s$ ), т. е.

$$p = F/s.$$

Давление - наиболее распространенный измеряемый параметр, величина которого во многом определяет ход технологического процесса.

Можно выделить следующие виды давления:

1. абсолютное;
2. атмосферное;
3. вакуум (разрежение);
4. избыточное;

Абсолютное давление  $P_{абс}$  – давление, отсчитанное от абсолютного нуля. За начало отсчёта абсолютного давления принимают давление внутри сосуда, из которого полностью откачан воздух. Также под абсолютным давлением понимается полное давление, которое равно сумме атмосферного и избыточного. Атмосферное (барометрическое) давление  $P_{атм}$  – давление, создаваемое массой воздушного столба земной атмосферы.

$$P_{абс} = P_{и} + P_{атм}$$

Вакуум (разрежение) - разность между атмосферным и абсолютным давлениями  $P_{в} = P_{атм} - P_{абс}$  (вакуумметрическое давление всегда ниже атмосферного).

Избыточное давление – разность между абсолютным и атмосферным давлениями  $P_{и} = P_{абс} - P_{атм}$  (избыточное давление всегда выше атмосферного).

## 1.2 Единицы измерения давления

Величина единицы давления зависит от выбранной системы единиц. В международной системе единиц (СИ) единицей измерения давления является

паскаль (Па) который равен давлению, создаваемому силой один ньютон, действующей на площадь в один квадратный метр (Н/м<sup>2</sup>).

В практике измерений получил распространение ряд внесистемных единиц давления, а именно:

а) килограмм на квадратный сантиметр (кг/см<sup>2</sup>) или техническая атмосфера:

$$1 \text{ кг/см}^2 = 98066,5 \text{ Н/м}^2;$$

б) миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.) — давление столба ртути высотой в 1 мм на свое основание при температуре 0°C и ускорении силы тяжести 980,665 см/с:

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 133,322 \text{ Н/м}^2;$$

в) миллиметр водяного столба (мм вод. ст.) — давление водяного столба высотой 1 мм на свое основание при температуре 4 С и ускорении силы тяжести 980,665 см/с:

$$1 \text{ мм вод. ст.} = 1 \text{ кг/м}^2 = 9,80665 \text{ Н/м}^2$$

В таблице 1 приведены основные единицы измерения давления и соотношения между ними [1].

Таблица – 1. Соотношение между основными единицами давления.

| Единица                            | Па                     | кгс/см <sup>2</sup>    | кгс/м <sup>2</sup> (мм вод. ст.) | мм рт. ст.              |
|------------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 1 Па                               | 1                      | $1,0197 \cdot 10^{-5}$ | 0,10197                          | $7,5006 \cdot 10^{-3}$  |
| 1 кгс/см <sup>2</sup>              | $9,8066 \cdot 10^{-4}$ | 1                      | $10^4$                           | 735,56                  |
| 1 кгс/м <sup>2</sup> (мм вод. ст.) | 9,8066                 | $10^{-4}$              | 1                                | $0,73556 \cdot 10^{-2}$ |
| 1 мм рт. ст.                       | 133,32                 | $1,3595 \cdot 10^{-3}$ | 13,595                           | 1                       |

## **2 Автоматизированные системы поверки и калибровки средств измерения давления**

### **2.1 Основные понятия и определения**

**Поверка средств измерений** – совокупность действий, выполняемых для определения пригодности средства измерения (далее - СИ) к использованию путем подтверждения соответствия характеристик СИ заявленным метрологическим требованиям [2].

На основании Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» [3] поверке подвергают СИ, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору.

Проводят поверку в соответствии с теми обязательными требованиями, которые установлены нормативными документами по проведению поверки. По ходу поверки СИ происходит процесс передачи размера единиц от эталонов рабочим средствам измерений, который связан с функциональным взаимодействием эталонного и рабочего СИ или эталона более высокого разряда с эталоном низшего разряда.

## 2.2 Виды поверок

Выделяют следующие виды поверок [4].

**Первичная поверка.** Поверка, которая выполняется при выпуске СИ из производства или после проведенного ремонта, а также при ввозе в страну партий импортных СИ, при продаже.

**Периодическая поверка.** Поверка СИ, которые находятся в эксплуатации или на хранении. Такая поверка проводится через определенные интервалы времени, называемыми **межповерочные** (обычно такие интервалы равны 1, 2 или 0,5 года).

**Внеочередная поверка.** Такая поверка СИ, проводится до наступления срока его очередной периодической поверки. Внеочередная поверка становится необходимой, например, из-за ухудшения метрологических свойств СИ или подозрения в этом при нарушениях условий эксплуатации.

**Выборочная поверка.** Поверка нескольких СИ, выбранных из партии случайным образом. По итогам такой поверки принимают решение о годности к эксплуатации всей партии.

**Инспекционная поверка.** Такую поверку СИ проводит орган Государственной метрологической службы при осуществлении государственного надзора за состоянием и применением СИ.

## 2.3 Классификация методов поверки средств измерений

Методы поверки представляют собой методы передачи размера единиц физической величины.

Различают следующие методы поверки:

1. Поверка, проводящаяся путем сличения показаний СИ, которое подвергается поверке с эталонным СИ того же вида, при этом не используется компаратор или прибор сравнения.
2. Поверка путем сравнения показаний поверяемого СИ с эталонным СИ того же вида с использованием компаратора либо других средств сравнения.

3. Поверка, проводящаяся путем прямого измерения поверяемым СИ значения физической величины, которое воспроизводится эталонной мерой.

4. Поверка путем прямого измерения эталонным СИ значения физической величины, которое воспроизводится подвергаемой поверке мерой.

5. Поверка путем косвенного измерения величины, которое воспроизводит мера либо поверяемый прибор.

6. Поверка посредством независимой (автономной) поверки.

Используемые на практике методы поверки могут обладать своими особенностями, однако по существу они могут быть приведены к одному из вышеперечисленных методов.

## **2.4 Нормативные документы в области поверки средств измерений**

ПР 50.2.012-94 Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок аттестации поверителей средств измерений [5].

ПР 50.2.006-94 Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок проведения поверки средств измерений [6].

МИ 187-86 ГСИ. Критерии достоверности и параметры методик поверки[7].

МИ 188-86 ГСИ. Установление значений параметров методик поверки[8].

ГОСТ 12.3.019-92. Система стандартов безопасности труда. Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности.

## **2.5 Классификация измерительных преобразователей давления**

В составе датчика давления имеется первичный преобразователь давления, который состоит из чувствительного элемента и приемника давления, схемы вторичной обработки сигнала, различных по конструкции корпусных деталей и устройства вывода. Одни приборы от других отличаются в основном точностью регистрации давления, которая, в свою очередь зависит от принципа преобразования давления в электрический сигнал: пьезорезистивный, тензометрический, индуктивный, емкостной, ионизационный, резонансный и др.[9].

## 2.6 Классификация датчиков давления по принципу действия

### Оптические

К оптическим датчикам давления могут быть отнесены такие датчики, которые построены на следующих принципах измерения: волоконно-оптическом и оптоэлектронном.

#### Волоконно-оптические

Эта группа датчиков давления построена на волоконно-оптическом принципе измерения. Такие приборы наиболее точны, кроме того, их функциональность не критично зависит от температурных колебаний. В составе таких датчиков имеется оптический волновод в качестве чувствительного элемента. Обычно величину давления, измеряемой в этих приборах оценивают по изменению амплитуды и поляризации света, который проходит сквозь чувствительный элемент.

#### Оптоэлектронные

Оптоэлектронные датчики имеют в составе многослойные прозрачные структуры. Сквозь такие структуры пропускают свет. При этом в зависимости от давления среды один из прозрачных слоев может изменять свои параметры. Выделяют два изменяемых параметра: 1) толщина слоя, 2) показатель преломления. Рисунок 1 демонстрирует оба метода - изменение показателя преломления — рисунок а), изменение толщины слоя — рисунок б).

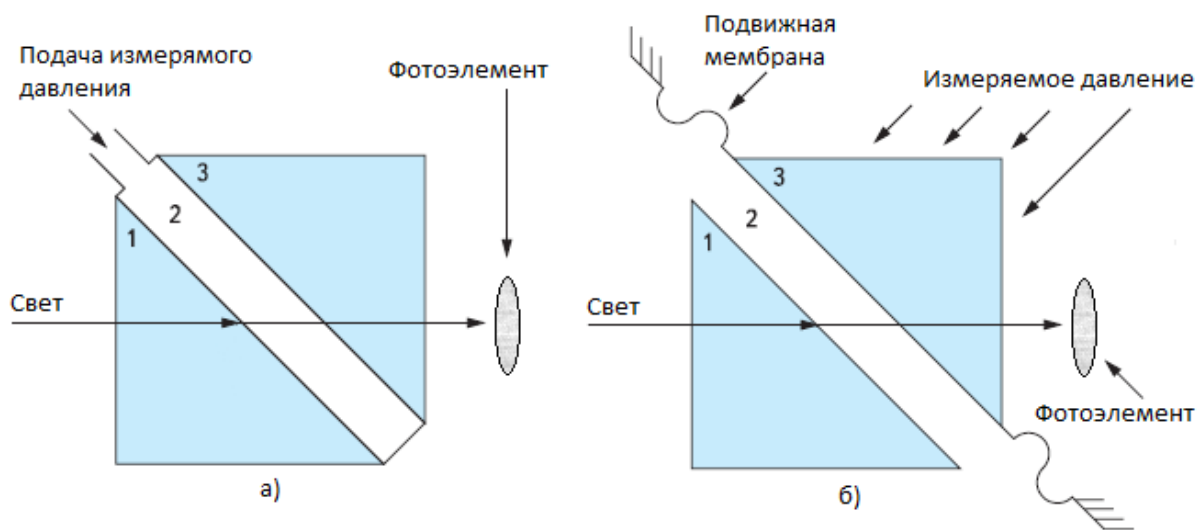


Рисунок 1 - Оптоэлектронные датчики.

Разумеется, что в процессе изменения этих параметров изменяются характеристики проходящего сквозь слои света, фотоэлемент будет регистрировать эти процессы. Высокая точность измерений несомненно относится к достоинствам таких датчиков.

### **Магнитные (индуктивные)**

Чувствительный элемент таких датчиков представлен Е-образной пластиной, в середине которой имеется катушка, а также проводящей мембраной чувствительной к давлению. Эта мембрана расположена на малой дистанции от края пластины. Во время подключения катушки, создается магнитный поток, проходящий сквозь пластину, воздушный зазор и мембрану. Даже небольшое изменение величины зазора влечет за собой заметное изменение индуктивности, так как магнитная проницаемость зазора примерно в тысячу раз меньше магнитной проницаемости пластины и мембраны (см. рисунок 2).

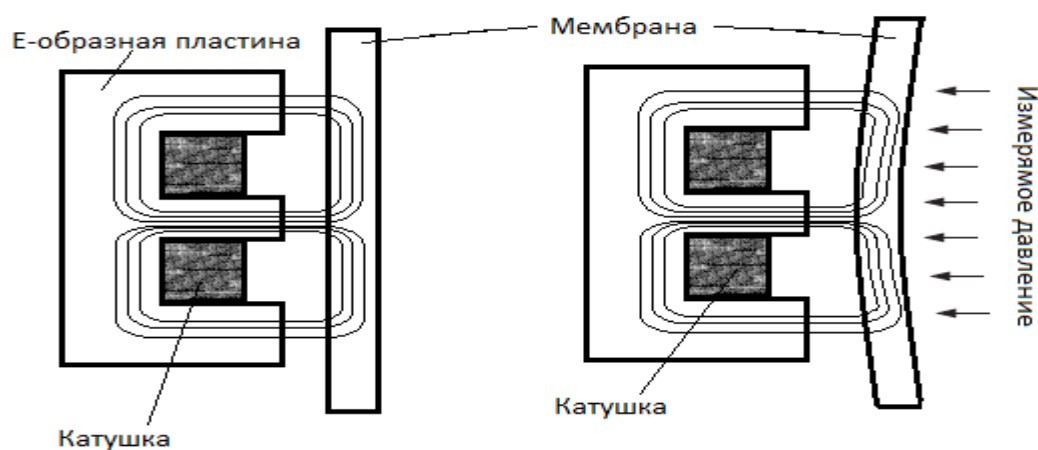


Рисунок 2 - Магнитные датчики.

### **Емкостные**

Емкостные датчики имеют наиболее простую конструкцию. В их составе два плоских электрода с зазором между ними. Один из таких электродов представлен мембраной, на которую давит измеряемое давление, что приводит к изменению величины зазора. По существу, эти датчики являются конденсаторами с изменяющейся величиной зазора. Емкость конденсатора, как

известно, зависит от величины зазора. Датчики такого типа фиксируют очень маленькие изменения давления.

### **Ртутные**

Также имеют простую конструкцию. Принцип работы основан на свойствах сообщающихся сосудов. Измеряемое давление давит на один из таких сосудов. По величине ртутного столба судят о величине давления.

### **Пьезоэлектрические**

Пьезоэлектрические датчики имеют в составе чувствительный элемент, который представлен пьезоэлементом - материалом, выделяющим электрический сигнал при деформации (прямой пьезоэффект). Пьезоэлемент находясь в измеряемой среде будет выделять ток, который пропорционален величине изменения давления. А так как электрический сигнал в пьезоматериале выделяется только при деформировании, а при постоянном давлении деформирование не происходит, то этот датчик пригоден только для измерения быстро меняющегося давления (см рисунок 3).

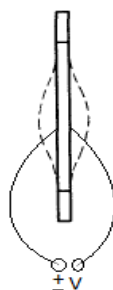


Рисунок 3 - Пьезоэлектрический датчик.

### **Пьезорезонансные**

Датчики такого типа также используют пьезоэффект, разница от пьезоэлектрических датчиков состоит в том, что применяется пьезоэффект обратный - видоизменение конфигурации пьезоматериала в зависимости от подаваемого тока. Такие датчики используют резонатор (например пластину) из пьезо-материала, на которую с двух сторон нанесены электроды. На эти электроды по-переменно подается напряжение различного знака, с изменением

частоты напряжения подачи пластина выгибается то в одну то в противоположную сторону. Однако, в случае подачи на эту пластину силы, например, чувствительной к давлению мембраной, то изменится частота колебаний резонатора. Значение частоты резонатора будет показывать величину, с которой давление давит на мембрану, ну а мембрана, в свою очередь, оказывает давление на резонатор (см. рисунок 4).

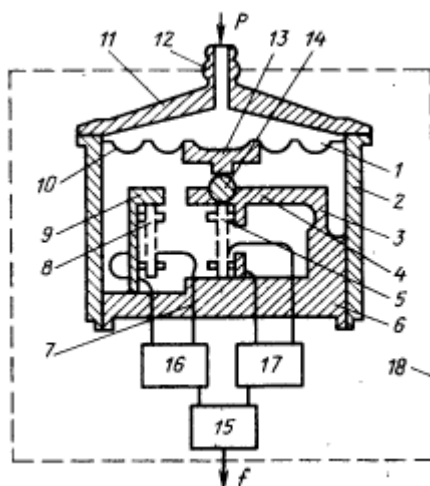


Рисунок 4 - Пьезорезонансный датчик абсолютного давления

На рисунке показан пьезорезонансный датчик абсолютного давления. Датчик изображён в виде герметичной камеры 1. Достижение герметичности осуществляется путем соединения основания 6, корпуса 2, а также мембраны 10, которая укрепляется к корпусу при помощи электроннолучевой сварки. На базе 6 зафиксированы 2 держателя: 4 и 9. Держатель 9, установлен для крепления опорного пьезорезонатора 8. Крепление держателя 4 к основанию осуществляется при помощи специальной перемычки 3 и он держит силовую чувствительную пластину 5.

Сквозь втулку 13 мембрана 10 подает напряжение на шарик 6, который закреплен в держателе 4. На силовую чувствительную пластину 5 шарик 4 подает силу давления.

На основании 6 крепятся провода 7, которые служат для соединения резонаторов 5 и 8 с генераторами 17 и 16. Сигнал абсолютного давления выходной формируется схемой 15 от разности частот генераторов. В активный

термостат 18 помещен датчик давления с постоянной температурой 40° по шкале Цельсия. Замеряемое давление подается сквозь штуцер 12.

### **Резистивные**

По-другому этот тип датчиков называют тензорезистивный. Чувствительный элемент таких датчиков представлен тензорезистором - элементом, который в зависимости от деформирования изменяет свое сопротивление. Такие тензорезисторы устанавливаются на чувствительную к изменению давления мембрану. В результате, под действием давления мембрана изгибается сама и изгибает тензорезисторы, закрепленные на ней. В итоге, сопротивление на тензорезисторах меняется, а также изменяется величина тока в цепи [10].

### **Резонансные**

Резонансный метод основан на волновых процессах: акустические или электро-магнитные. Этим и обусловлена высокая стабильность датчиков, а также высокие выходные характеристики прибора. К недостаткам можно отнести индивидуальную характеристику преобразования давления, значительное время отклика, не возможность проводить измерения в агрессивных средах без потери точности показаний прибора.

### **Ионизационные**

Ионизационный метод основан на принципе регистрации потока ионизированных частиц. Аналогично устроены ламповые диоды. Лампа оснащена нагревателем и двумя электродами: катодом и анодом. В некоторых лампах нагреватель отсутствует, что связано с использованием более совершенных материалов для электродов. Преимущество таких ламп заключается в возможности регистрировать с высокой точностью низкое давление - вплоть до глубокого вакуума. При этом необходимо учитывать, что приборы такого типа нельзя эксплуатировать, если давление в камере близко к атмосферному. В связи с этим, такие преобразователи необходимо сочетать с другими датчиками давления, например, емкостными. Зависимость сигнала от давления является логарифмической.

## **2.7 Классификация систем для поверки и калибровки датчиков давления.**

По назначению можно выделить:

1. системы, предназначенные только для поверки (без калибровки) датчиков давления.
2. системы, предназначенные как для поверки, так и для калибровки датчиков давления.

По степени автоматизации:

1. системы с ручным заданием давления.
2. системы с автоматизированным заданием давления.

## **2.8 Системы поверки и калибровки датчиков давления**

### **Автоматизированная система для поверки и калибровки датчиков динамического давления модель K9903C (0-10 бар)**

Система калибровки датчиков динамического давления (пульсации давления) модель K9903C - это система "под ключ", позволяющая проводить прецизионную калибровку и поверку датчиков давления в диапазоне 0-10 бар. Система имеет рабочий объем с воздухом под давлением, манометр, два автоматизированных клапана регулировки давления воздуха в баллоне, а также линейный быстроходный клапан для создания импульса заданной амплитуды.

В состав системы входит актюатор давления, прецизионный манометр, программное обеспечение, которое позволяет получать данные измерений в режиме реального времени, сохранять их, а также строить зависимости, определять чувствительность датчиков и проверку его линейности, создавать автоматизированные протоколы калибровки и поверки (см. рисунок 5).



Рисунок 5 - Система калибровки датчиков динамического давления (пульсации давления) модель K9903C.

Система калибровки модель K9903C внесена в Государственный реестр средств измерения РФ.

Характеристики системы:

- Диапазон давления: 0 – 10,34 бар;
- Цифровой индикатор уровня;
- Погрешность: +/- 0,2%;
- Максимальное давление: 13,80 бар;
- Время нарастания (шаг): 5 мсек;
- Цифровой индикатор;
- Размеры: 560x610x610 мм;
- Масса: 23 кг;

Состав системы:

- Рабочая станция для поверки и калибровки датчиков динамического давления;
- Ноутбук с автоматизированным программным обеспечением для калибровки датчиков давления;
- Система подачи воздуха [11];

## **ЭЛЕМЕР-АКД-12К, ЭЛЕМЕР-АКД-12К-И — автоматические калибраторы давления**

Автоматические калибраторы давления ЭЛЕМЕР-АКД-12К и ЭЛЕМЕР-АКД-12К-И предназначены для точного воспроизведения и измерения давления, измерения унифицированных сигналов силы и напряжения постоянного тока, тестирования состояний реле и настройки преобразователей давления по цифровому протоколу HART (см. рисунок 6).



Рисунок 6 - Автоматические калибраторы давления ЭЛЕМЕР-АКД-12К и ЭЛЕМЕР-АКД-12К-И

Калибраторы серии ЭЛЕМЕР-АКД являются аналогами контроллеров давления зарубежного производства, способны быстро и точно воспроизводить избыточное и абсолютное давление, давление-разрежение. АКД-12К-И оснащаются многофункциональным измерительным модулем и применяются для автоматизированной поверки и калибровки преобразователей давления и электроконтактных манометров.

### **Функциональные особенности**

- Цветной сенсорный экран с интуитивно понятным меню;
- Быстродействующая система клапанов и уравнильных емкостей;

- 1 или 2 встроенных эталонных модуля, барометрический датчик (опция);
- Встроенный калибровочно-измерительный модуль (опция);
- Поддержка цифрового протокола HART (опция);
- Функция автоматизированной поверки датчиков, подстройки токовой петли и калибровки сенсора (опция);
- Функция тестирования реле (опция);
- Гальванически развязанное питание датчиков (опция);
- Полнофункциональное внутреннее ПО.

#### Основные характеристики

- Диапазоны регулирования давления:
  - 0...120 кПа — ДА;
  - 0...100 кПа — ДИ;
  - 0...6 МПа — ДИ;
  - -100...600 кПа — ДИВ (0...600 кПа — ДА);
  - -0,1...2,5 МПа — ДИВ (0...2,5 МПа — ДА);
- Основная приведенная погрешность измерения давления — 0,01% или 0,02% от поддиапазона измерения;
- 4 универсальных измерительных канала;
- 8 дискретных входов (тест реле);
- Внешнее ПО для управления приборами, обработки данных, вывода на печать и хранения протоколов поверки — предоставляется бесплатно.[12]

#### **Автоматизированная система калибровки датчиков давления**

Система калибровки датчиков давления предназначена для автоматизации процессов градуировки и поверки прецизионных датчиков абсолютного давления и разности давлений в нормальных и климатических условиях.

В состав системы входят следующие устройства:

- газо-вакуумная система;

- пульт управления;
- камеры тепла-холода;
- силовой пульт;
- стол оператора.

Система калибровки выполнена на базе современных комплектующих изделий отечественного и зарубежного производства.

Подсистема формирования калибровочных давлений выполнена на базе контроллеров давления DPI 520 фирмы Druck (Великобритания), размещенных в термостатированном шкафу. Питание контроллеров положительным давлением осушенного воздуха осуществляется от автономного компрессора.

Подсистемы получения опорного вакуума и получения отрицательных давлений выполнены на базе двухкамерных безмасляных спиральных насосов TriScroll 600 фирмы VARIAN.

Газо-вакуумная система обеспечивает:

- формирование калибровочных давлений в диапазоне абсолютных давлений до 7 МПа при поочередной работе контроллеров DPI 520;
- предельный опорный вакуум не более 3,5 Па;
- распределение калибровочного давления или опорного вакуума по пяти линиям;
- предельный вакуум в ресивере системы получения отрицательного давления для контроллеров DPI 520 на абсолютные давления 7 МПа, 3,5 МПа и 350 кПа - не более 35 Па;
- предельный вакуум в ресивере системы получения отрицательного давления для контроллера DPI 520 на абсолютное давление 35 кПа - не более 3,5 Па.

В качестве камер тепла – холода использованы камеры тепла – холода типа MC-811 фирмы «Espress» (Япония) (см. рисунок 7).



Рисунок 7 - Автоматизированная система калибровки датчиков давления  
Операции, подлежащие выполнению на оборудовании, и уровень их механизации

На системе калибровки выполняются следующие операции:

- загрузка испытуемых приборов – ручная;
- задание температуры испытаний – автоматизированная;
- пуск процесса испытаний – ручная;
- поверка датчиков абсолютного давления и датчиков разности давлений – автоматическая;
- калибровка датчиков – автоматическая;
- документирование результатов испытаний – автоматизированная;
- выгрузка испытуемых приборов – ручная [13].

### **Портативный калибратор ЭЛЕМЕР-ПКД-160**

Одной из последних новинок НПП «ЭЛЕМЕР» является портативный калибратор давления ЭЛЕМЕР-ПКД-160, предназначенный для точного измерения и воспроизведения избыточного давления до 16 МПа, электрических сигналов силы постоянного тока и сигналов преобразователей давления

эталонных ПДЭ-010. Калибратор выпускается в двух версиях – переносной и настольной (см. рисунок 8).



Рисунок 8 - Калибраторы давления портативные ЭЛЕМЕР-ПКД-160:

1 – переносной,

2 – настольный с одним каналом;

3 – настольный с двумя каналами

### **Переносной калибратор**

Переносная версия представляет собой кейс со встроенным двухлитровым ресивером (баллоном) на 20 МПа и аккумулятором повышенной емкости для обеспечения питания встроенного калибровочно-измерительного устройства и испытываемого оборудования.

Пневматическая система ЭЛЕМЕР-ПКД-160-П имеет один выходной канал давления, регулируемый с помощью пневматического редуктора с клапаном сброса (0...0,6, 0...2,5 или 0...16 МПа) и поршневого регулятора точной подстройки. Уникальная конструкция фильтрующих устройств на штуцерах сводит к минимуму отказы и облегчает очистку калибратора.

Электронная часть устройства включает в себя:

- 5 гальванически развязанных выходных каналов питания 24/36 В для испытываемого оборудования;
- 4 входных измерительных канала унифицированных сигналов 0...5, 4...20 мА для преобразователей давления;
- 1 выходной канал эмуляции тока 0...25 мА для тестирования систем автоматизации и вторичных приборов;
- 2 дискретных входных канала для тестирования состояний реле;
- интерфейс RS-232 для получения данных преобразователей давления эталонных ПДЭ-010;
- интерфейс USB 2.0 для подключения сменных носителей информации и обмена данными с ПК.

Теперь можно легко и быстро проводить калибровку и испытания измерителей давления одной рукой, экономя драгоценное время. Калибратор полностью автономен и, более того, позволяет автоматически сличать показания испытываемого и эталонного устройств. Результаты измерений можно хранить в собственном архиве прибора и в любой момент перенести их на внешний носитель информации. Калибратором можно также управлять при помощи компьютера. Новое бесплатное программное обеспечение делает работу с калибратором комфортной и позволяет автоматически создавать типовые протоколы поверки (см. рисунок 9).



Рисунок 9 - ЭЛЕМЕР-ПКД-160-П в режиме поверки четырех преобразователей давления с автоматическим формированием типовых протоколов поверки

**Настольный калибратор**

Настольная версия калибратора ЭЛЕМЕР-ПКД-160-Н предназначена для лабораторного использования и отличается возможностью реализовать два независимых выходных канала давления, а также наличием встроенного компрессора для каналов 0...0,6 и 0...2,5 МПа, что позволяет экономить воздух в ресивере.

Для заправки встроенных ресиверов компания «ЭЛЕМЕР» предлагает стационарную или переносную компрессорные мини-станции. ЭЛЕМЕР-ПКД-160-Н также можно укомплектовать внешним источником давления (баллон 20 л × 30 МПа).

Для подключения к различным резьбовым соединениям калибратор - ЭЛЕМЕР-ПКД-160 может быть укомплектован различными переходными штуцерами, гребенками для штуцерного и фланцевого подключений. Стоит отметить, что все пневматические соединения ЭЛЕМЕР-ПКД-160 реализованы в

виде быстрозажимных гаек с самоуплотнением, что позволяет собрать пневматическую систему «от руки» (см. рисунок 10).



Рисунок 10 - Вверху – примеры подсоединения датчиков давления с помощью дополнительных монтажных частей.

Внизу – дополнительные монтажные части для подсоединения датчиков давления:

1 – гребенка для штуцерного соединения; 2 – блок для штуцерного соединения; 3 – гребенка для фланцевого соединения

Компактный и легкий корпус, а также возможность выполнения калибровки «одной рукой» делают ЭЛЕМЕР-ПКД-160 идеальным инструментом для профессионалов, которые дорожат своим временем.

В качестве эталона единицы значения давления в ЭЛЕМЕР-ПКД-160 используются преобразователи давления эталонные ПДЭ-010. Благодаря цифровому выходу ПДЭ-010 могут применяться как в качестве

самостоятельного высокоточного (эталонного) средства измерения давления, так и в составе ЭЛЕМЕР-ПКД-160.

ПДЭ-010 выпускаются в общепромышленном, кислородном и взрывозащищенном исполнении. По желанию заказчика преобразователь давления конструктивно может быть выполнен с поворотным пятиразрядным ЖК-индикатором с подсветкой, графической шкалой и встроенным аккумулятором (см. рисунок 11).



Рисунок 11 - Преобразователь давления эталонный ПДЭ-010:

1 – с индикацией; 2 – без индикации

Модельный ряд ПДЭ-010 включает в себя более 10 моделей со следующими верхними пределами измерений:

- абсолютное давление: 120 кПа... 2,5 МПа;
- избыточное давление: 2,5 кПа... 60 МПа;
- избыточное давление-разрежение: –100 ...600 кПа.

Перед разработчиками нового калибратора ЭЛЕМЕР-ПКД-160 ставились задачи обеспечить экономию времени для обслуживающего персонала и упростить процедуры калибровки и поверки датчиков давления, тестирования

систем автоматизации и функционирования реле ЭКМ, при этом добавив максимум удобства для выполнения этих операций, как в лабораторных условиях, так и на местах непосредственной эксплуатации проверяемого оборудования. Испытания и опытная эксплуатация показали, что эти задачи выполнены. В ближайших планах НПП «ЭЛЕМЕР» выпуск калибратора давления ЭЛЕМЕР-ПКД-160 во взрывозащищенном исполнении, а также расширение линейки калибраторов за счет разработки малогабаритной версии[14].

### **Комплект оборудования для поверки средств измерений давления**

#### **Автоматизированное рабочее место (АРМ) поверителя**

Комплект оборудования предназначен для организации рабочего места поверителя при проведении поверки средств измерения давления, разряжения и давления-разряжения (см. рисунок 12).



Рисунок 12 - Комплект оборудования на базе ДМ5002М-А

Комплект оборудования на базе ДМ5002М-А позволяет одновременно поверять до трех средств измерений давления с диапазоном измерений до 60 МПа (600 кгс/см<sup>2</sup>) с формированием, сохранением и созданием базы протоколов поверки.

Для работы с комплектом оборудования необходим компьютер (ноутбук). При подключении более одного поверяемого прибора требуется коллектор.

Рабочий эталон - цифровой манометр ДМ5002М-А внесен в Государственный реестр средств измерений под № 26407-08. Методика поверки рабочего эталона 5Ш0.283.342МП утверждена ВНИИМС.

Функциональные возможности:

- одновременная поверка до трех средств измерений давления
- поддержка двух способов поверки

- выбор единиц измерения давления
- формирование, сохранение и создание базы протоколов поверки
- автоматический расчёт погрешностей и подтверждение пригодности средства измерений к применению или признания средства измерений непригодным к применению

- простота эксплуатации
- лёгкость транспортировки и малые габариты

Основные технические характеристики

Диапазон измерений поверяемых приборов: (- 0,1-60) МПа

Класс точности поверяемых приборов: 0,4; 0,6; 1,0 и ниже

Единицы измерения давления: кПа, МПа, кгс/см<sup>2</sup> и др.

Интерфейс: USB/COM

Комплект оборудования включает:

- - рабочие эталоны с пределом допускаемой основной погрешности:  $\pm 0,06\%$ ;  $\pm 0,1\%$ ;  $\pm 0,15\%$ ;  $\pm 0,2\%$ ;  $\pm 0,25\%$  (в соответствии с моделью, указанной в таблице 1)
- - паспорта к рабочим эталонам ДМ5002М-А (по количеству рабочих эталонов);
- - руководство по эксплуатации рабочих эталонов ДМ5002М-А (1 экз.);
- - методика поверки манометров цифровых ДМ5002М (1 экз.);
- - свидетельства о поверке приборов ДМ5002М-А (по количеству рабочих эталонов);
- паспорт к комплекту оборудования (1 экз.);
- руководство по эксплуатации комплекта оборудования (1 экз.);
- устройства для создания давления (с сопроводительными документами в соответствии с моделью);
- компакт-диск с программным обеспечением «Поверитель» (1 шт.);

- интерфейсные электрические кабели (PC4TB-COM - 1 шт.; COM-USB - 1 шт.);
- блок питания для подключения приборов ДМ5002М-А от источника напряжения постоянного тока (1 шт.);
- кейс – 2 шт. (в кейс 1 укладываются: рабочие эталоны, интерфейсные электрические кабели, блок питания, компакт-диск с программным обеспечением «Поверитель», элементы питания (аккумуляторы); в кейс 2 - устройство для создания давления, коллектор с заглушками, - набор переходников с прокладками, разделительная камера).

По заказу комплект оборудования может также включать:

- набор переходников с прокладками с различными присоединительными резьбами (в соответствии с таблицей 2);
- коллектор с заглушками (позволяет подключать до 4 приборов, включая рабочий эталон);
- ноутбук;
- разделительная камера (до 3-х шт.). [15]

### **3 Выбор и обоснование структурной схемы информационно-измерительного комплекса для поверки датчиков давления.**

#### **Выбор метода поверки.**

Выбор метода поверки обусловлен техническим заданием, из которого следует, что поверку датчиков ДМ5001 следует проводить с использованием эталонного датчика ДМ5002

#### **Описание структурной схемы.**

Разработаем структурную схему комплекса (см. рисунок 13) на основании которой в дальнейшем будет разрабатываться схема принципиальная.

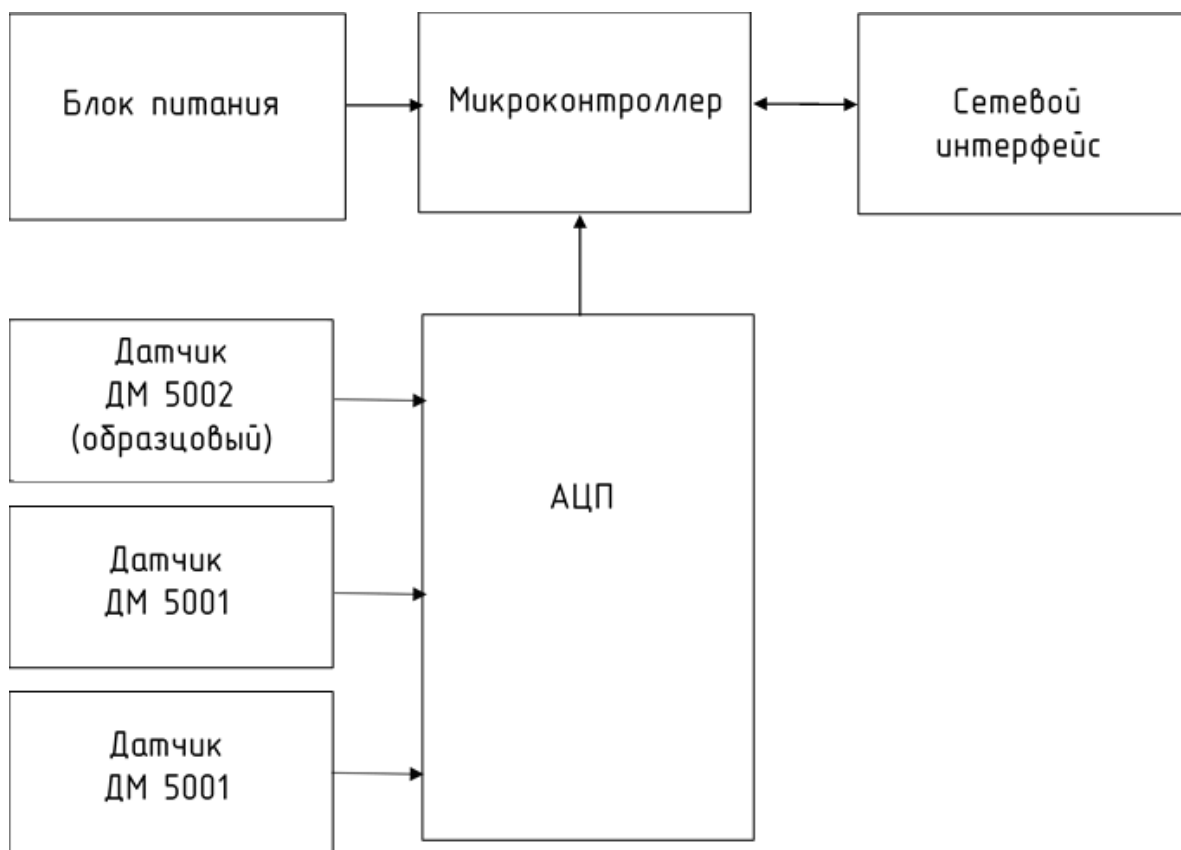


Рисунок 13 – Структурная схема устройства

Из структурной схемы видно, что сигналы, поступающие с датчиков, оцифровываются и попадают на устройство управления. Дисплей предназначен для вывода полученной информации, удобства при настройке устройства. Блок датчиков, регистрирующих уровень давления. Информация, снимаемая с датчиков, поступает в систему через блок АЦП. Далее система обрабатывает

полученную информацию по заложенному в нем алгоритму и передает результат обработки объектам регулирования.

Наряду с ОЗУ, микроконтроллер может оснащаться встроенной энергонезависимой памятью для хранения программы и данных. Вместе с тем многие контроллеры вообще не имеют шин для подключения внешней памяти. Более бюджетные типы памяти допускают лишь однократную запись. Устройства такого типа применимы в тех случаях, когда программа контроллера не будет обновляться. Другие типы контроллеров имеют возможность многократной перезаписи энергонезависимой памяти. В отличие от процессоров общего назначения, в микроконтроллерах часто используется гарвардская архитектура памяти, то есть раздельное хранение данных и команд в ОЗУ и ПЗУ соответственно.

Программирование микроконтроллеров обычно осуществляется на языке ассемблера или Си, хотя существуют компиляторы для других языков.

Опираясь на полученные данные, делаем вывод, что разрабатывать устройство необходимо на микроконтроллере, так как в нашем случае это является идеальным вариантом.

При составлении структурной схемы был учтен тот факт, что для работы любого микроконтроллера требуется тактируемое устройство (кварцевый резонатор). Выбор конкретной модели кварцевого резонатора определяется в зависимости от конкретной модели самого микроконтроллера.

#### **4 Выбор и обоснование принципиальной схемы информационно-измерительного комплекса для поверки датчиков давления.**

##### **Выбор микропроцессора.**

Рассмотрим семейство микроконтроллеров i8051, так как данные микросхемы имеют невысокую стоимость. Функциональные возможности данного семейства разнообразны, но нам необходимо выбрать МК с простым функционалом, так как разрабатываемая система не предъявляет каких-либо жестких требований к МК.

Микроконтроллер семейства i8051 имеет гарвардскую архитектуру – различные шины для памяти команд и памяти данных. Это 8-разрядные микроконтроллеры. Объем программного кода может быть не более 64К байт[20].

На функциональной схеме (см рисунок 14) показаны следующие узлы:

- RAM - оперативное запоминающее устройство (память временных данных), хранит данные в процессе выполнения программы;
- ROM - постоянная память (память программ), хранит инструкции программы;
- I/O - порты ввода/вывода, двунаправленные;
- Timer(0/1) - 16-разрядные таймеры-счётчики, подсчёт интервалов, работа UART, организация ШИМ, подсчёт импульсов внешних событий;

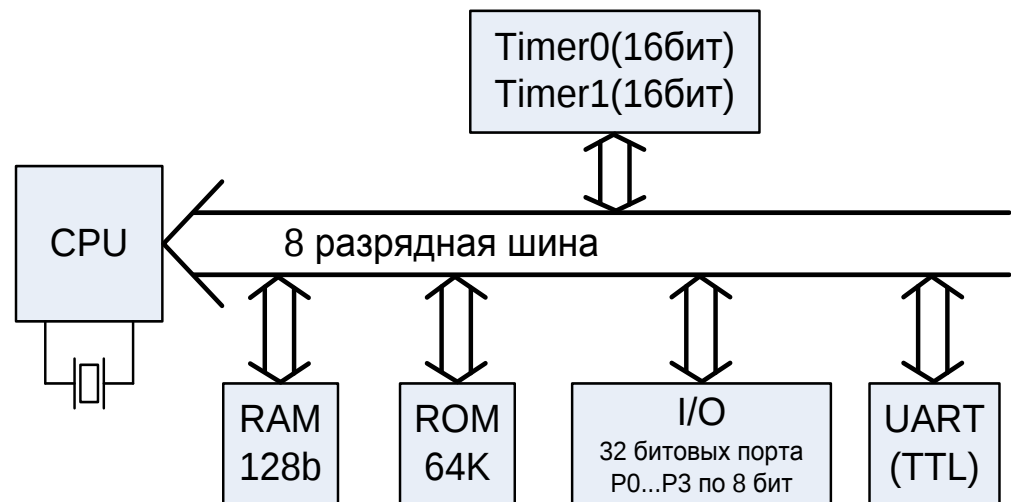


Рисунок 14 – Функциональная схема AT89C51

UART - интерфейс организации последовательной передачи информации (аппаратный).

Микроконтроллер может работать в двух режимах:

- режим микропроцессора (подразумевает, что используется 8-разрядная микросхема, но есть внешняя память (ОЗУ), подключаемая через внешнюю шину);
- режим однокристалльной микроЭВМ (всё на одном кристалле, в том числе и память кода).

После анализа представленных моделей семейства i8051 в качестве микроконтроллера выбираем микросхему AT89C51, которая является 8-разрядным КМОП микроконтроллером с Flash ПЗУ [30].

Отличительные особенности:

- Емкость перепрограммируемой Flash памяти: 4 Кбайт, 1000 циклов стирание/запись.
- Совместимость с приборами семейства MCS-51TM
- Диапазон рабочих частот от 0 Гц до 24 МГц.
- Напряжение питания  $5 \pm 20\%$  В
- Трехуровневая блокировка памяти программ
- Группы по частотам: 12 МГц, 16 МГц, 20 МГц и 24 МГц

- СОЗУ емкостью 128 байтов
- Два 16-разрядных таймера/счетчика событий
- 32 программируемых линий ввода/вывода
- Шесть источников сигналов прерывания
- Программируемый последовательный канал UART.

Расположение выводов микросхемы представлено на рисунке 15.

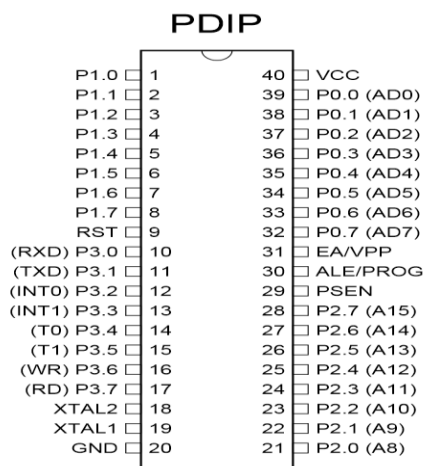


Рисунок 15 – Расположение выводов микросхемы AT89C51.

### Расчет элементов.

### Расчет цифрового тракта

Цифровой тракт устройства будет обеспечивать:

1. сбор информации с выходов каналов измерения уровня сигнала с датчиков давления
2. обработку информации и расчет выходных воздействий в соответствии с рабочей формулой;
3. выдачу полученного значения на цифровой индикатор;
4. управление работой вспомогательных элементов схемы.

Рассчитаем требования к микроконтроллеру.

Определим требуемую длину разрядной сетки представления результата[10]. Под длиной  $n_c$  разрядной сетки понимается число двоичных

разрядов, отводимое для представления мантиссы числа без разряда, определяющего его знак.

$$\Delta_{don} = \frac{\sigma_{don}}{10} = \frac{40}{10} = 4_M \quad (3.1)$$

Количество бит определяется по формуле:

$$n = \left\lceil \log_2 \left( \frac{U_{max}}{\Delta_{don}} \right) \right\rceil = \left\lceil \log_2 \left( \frac{32}{4} \right) \right\rceil = 3 \quad (3.2)$$

где:

$U_{max}$  - максимальное значение измеряемого параметра.

Так как микроконтроллеры имеют восьмибитную шину данных, то, очевидно, что для представления результата необходимо использовать однобайтный формат числа.

Определим емкость памяти. Определение емкости памяти необходимо для:

1. хранения кодов программ в памяти программ (ПЗУ);  
хранение промежуточных данных, возникающих в ходе выполнения программы (ОЗУ).

Емкость ПЗУ определяется по формуле[30]:

$$Q_{ПЗУ} = \lambda \cdot \left( \sum N_{ком}^j \right) \quad (3.3)$$

где:  $\lambda=1,5$  – коэффициент запаса.

Количество выполняемых операций определяется исходя из:

2. сложение - 15 бит
3. вычитание - 25 бит
4. умножение - 30 бит
5. деление - 100 бит
6. возведение в степень - 100
7. извлечение из-под корня - 50
8. подпрограмма опроса каналов - 50
9. подпрограмма выдачи информации - 50

Тогда:

$$Q_{ПЗУ} = 1,5(15 + 25 + 80 + 100 + 100 + 50 + 50 + 50) = 705$$

Емкость ОЗУ находится по формуле:

1. результаты опроса каналов и датчиков – поразрядно  $16+16=32$
2. промежуточные результаты вычисления рабочей формулы  $2 \times 30=60$
3. промежуточные результаты 30
4. В этом случае емкость ОЗУ составит:

$$Q_{ПЗУ} = 16 + 60 + 30 = 106$$

Для выбора конкретной модели микроконтроллера, кроме проведенных расчетов, установим также ряд дополнительных критериев:

1. Наличие аналоговых входов. Требуемое число разрядов и требуемое быстродействие такого АЦП будет установлено ниже.
2. Минимальная цена. Микроконтроллер должен по возможности иметь наименьшую стоимость.
3. В своей структуре микроконтроллер должен иметь следующие аппаратные модули:
  - таймер, с помощью которого будет производиться измерение интервалов времени;
  - универсальный, последовательный приемо-передатчик, с помощью которого будет осуществляться пересылка данных от САУ.

Учтем дополнительное пожелание – наличие встроенной аппаратной поддержки интерфейса USB. Наличие USB позволит подключить к системе персональный компьютер для настройки и модернизации ПО

Кроме того, выбираемый микроконтроллер должен быть современным. Это обстоятельство важно потому, что фирмы разработчики микроконтроллеров производят поддержку только новых моделей (например, включают в базы данных программаторов только новые модели), а многие старые модели снимаются с производства и не учитываются программами компиляторами и программаторами.

## Расчет требований, выдвигаемых к АЦП

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) предназначен для преобразования непрерывной величины  $x$  в числовой код  $N$ . Числовой код подается в вычислитель – АЛУ микроконтроллера. Расчет параметров АЦП производится в соответствии с [4].

Погрешность АЦП в общем случае является случайной и может быть охарактеризована среднеквадратическим значением  $\sigma_{\text{АЦП}}$  или дисперсией:

$$\sigma_{\text{АЦП}}^2 = \sigma_{\text{диск}}^2 + \sigma_{\text{кв}}^2 + \sigma_{\text{дин}}^2 \quad (3.4)$$

где:

$\sigma_{\text{диск}}^2$  – среднеквадратическое значение составляющей погрешности АЦП, возникающей за счет дискретизации непрерывного сигнала;

$\sigma_{\text{кв}}^2$  – среднеквадратическое значение составляющей погрешности, возникающей за счет дискретизации сигнала по уровню;

$\sigma_{\text{дин}}^2$  – среднеквадратическое значение погрешности, возникающей за счет запаздывания выходного сигнала АЦП на время преобразования.

На практике [10] полагают следующее распределение погрешностей:

- $\sigma_{\text{диск}}^2 = 2/6$ ;
- $\sigma_{\text{кв}}^2 = 3/6$ ;
- $\sigma_{\text{дин}}^2 = 1/6$ .

Максимальный уровень сигнала на входе АЦП одинаков для всех каналов, так как определяется нормирующим усилителем, тогда:

$$\sigma_{\Delta \text{АЦП}}^2 = (\sigma_{\text{АЦП}} \cdot U_{\text{max}})^2 = (0,001 \cdot 5)^2 = 25 \text{ мкВ}^2 \quad (3.5)$$

Рассчитываем:

$$\sigma_{\text{диск}}^2 = \sigma_{\Delta \text{АЦП}}^2 \cdot \frac{2}{6} = 25 \cdot \frac{2}{6} = 8,3 \text{ мкВ}^2 \quad (3.6)$$

$$\sigma_{\text{кв}}^2 = \sigma_{\Delta \text{АЦП}}^2 \cdot \frac{3}{6} = 25 \cdot \frac{3}{6} = 12,5 \text{ мкВ}^2 \quad (3.7)$$

$$\sigma_{\text{дин}}^2 = \sigma_{\Delta \text{АЦП}}^2 \cdot \frac{1}{6} = 25 \cdot \frac{1}{6} = 4,16 \text{ мкВ}^2 \quad (3.8)$$

Рассчитаем максимальные скорости изменения сигнала с датчиков давления, то есть скорости изменения информационных параметров системы.

Определим требуемое число разрядов АЦП[10]:

$$n = \log_2 \left[ \frac{U_{\max}}{2\sqrt{3} \cdot \sigma_{\kappa\delta}} + 1 \right] = \log_2 \left[ \frac{5}{2\sqrt{3} \cdot \sqrt{12.5 \cdot 10^{-6}}} + 1 \right] = 9,36 \approx 10 \quad (3.9)$$

Требуемое время преобразования АЦП можно определить по формуле:

$$t_x \leq \frac{\sigma_{\Delta \text{дин}}}{2 \cdot \nu_x} \quad (3.11)$$

Находим для канала измерения:

$$\sigma_{\Delta T_{\text{дин}}} = \sqrt{\sigma_{\text{дин}}^2 \cdot U_{\max}^2} = \sqrt{4.16 \cdot 10^{-6} \cdot 32^2} = 0,065 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.12)$$

Тогда время преобразования данных АЦП в канале измерения составит:

$$t_T \leq \frac{0,065}{2 \cdot 0,0056} = 5.8 \text{ с}$$

Как видно, требования к быстродействию АЦП достаточно низкие. и должно быть не менее 10 разрядов и не менее 1...2 с соответственно.

### **Выбор АЦП**

После изучения представленных на рынке АЦП, выбор остановился на модели МСР3204 компании Microchip Technology. Основными его достоинствами являются использование последовательного канала передачи преобразованных данных и его 4-х-канальность.

Дадим краткое описание используемой модели.

МСР3204 – последовательный 12-битный аналогово-цифровой преобразователь с встроенным устройством выборки и хранения (УВХ). Может работать в режиме двух псевдо-дифференциальных входных пар или в четырехканальном режиме.

Режим работы выбирается подачей определенной последовательности импульсов на соответствующий вход.

Связь с АЦП имеет простой последовательный интерфейс совместимый с протоколом SPI.

MCP3204 работает в широком диапазоне напряжений (3.7V-6.5V).

Функциональная схема MCP3204 представлена на рисунке 16.

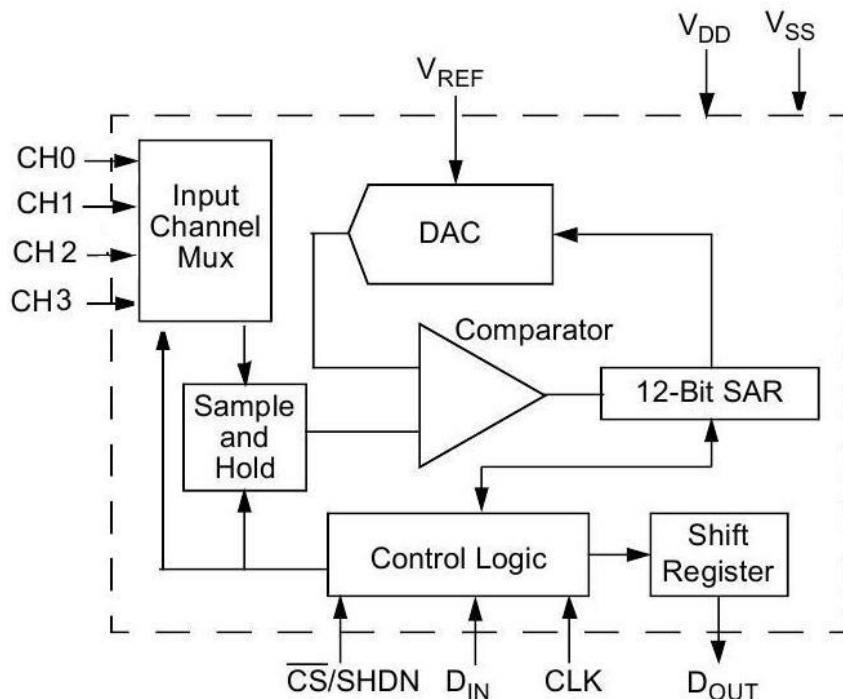


Рисунок 16 – Функциональная схема MCP3204

Для организации передачи данных между АЦП и микроконтроллером необходимо знать временные характеристики АЦП при последовательном подключении (см. рисунок 17).

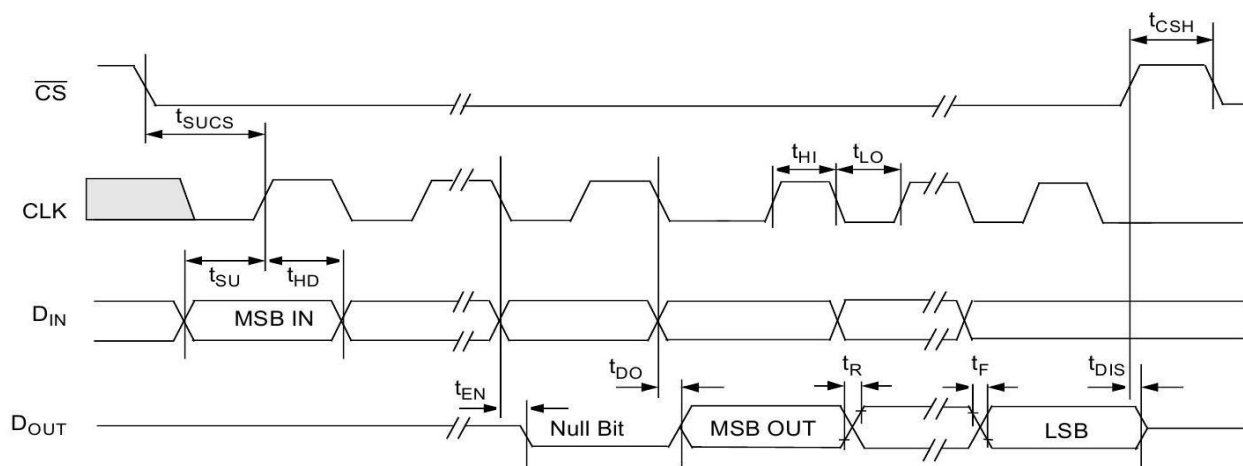


Рисунок 17 – Временные характеристики MCP3204

Временные характеристики, представленные на рисунке 3.4, отражают качественную сторону процесса передачи. Для полноты картины

необходимо иметь также представления о количественной стороне процесса передачи

Рассмотрим назначение выводов MCP3205.

DGND

Общий провод («земля») цифровой части схемы.

AGND

Общий провод («земля») аналоговой части схемы.

CH0-CH3

Входы для подачи аналогового сигнала. Каждая пара каналов может быть запрограммирована для использования как в режиме двух независимых канала, так и в режиме единственного псевдо-дифференциального входа.

CLK

На данный вход необходимо подавать последовательность импульсов, чтобы инициализировать процесс преобразования, а также синхронизировать каждый бит преобразованной информации (цифрового кода).

D<sub>IN</sub>

Данный вход используется для выбора одного из каналов путем подачи на него определенной последовательности импульсов.

D<sub>OUT</sub>

Данный выход необходим для последовательного вывода преобразованных АЦП данных.

CS#/SHDN

Используется для инициализации выбора микросхемы АЦП.

Детализированная схема процесса преобразования представлен на рисунке 18.

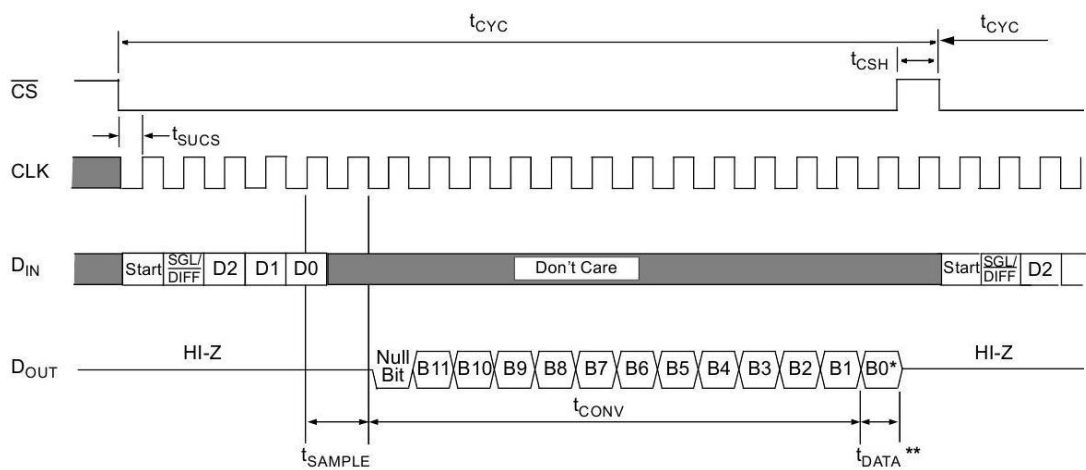


Рисунок 18 – Детализированная схема процесса преобразования

Формула преобразования АЦП имеет вид:

$$Digital\ Output\ Code = \frac{4096 \cdot V_{IN}}{V_{REF}},$$

где *Digital Output Code* – кодовая последовательность на выходе АЦП после преобразования;

$V_{IN}$  - величина аналогового входного сигнала, В;

$V_{REF}$  - опорное напряжение, В.

В качестве источника опорного напряжения удобно использовать (а также рекомендуется использовать) стабилизатор напряжения MCP1541, работающий в диапазоне напряжений питания 4,3...5,5В и имеющий на выходе стабилизированное напряжение 4,096 В.

Микросхема способна отдавать в нагрузку ток до 2 мА, когда ее собственное потребление составляет 100 мкА.

Максимальная начальная погрешность установки  $\pm 1\%$ .

Диапазон рабочих температур минус 40...+85°C.

## Выбор датчиков давления

Согласно техническому заданию необходимо разработать информационно – измерительный комплекс для поверки одновременно двух датчиков давления ДМ 5001 с использованием в качестве образцового датчик ДМ 5002.

### ДМ5001

Манометры цифровые ДМ5001 (рисунок 19) предназначены для измерения и непрерывного преобразования значения избыточного и вакуумметрического давлений неагрессивных сред в электрический унифицированный выходной сигнал с отображением информации о давлении на цифровом табло, а также для управления внешними электрическими цепями в системах автоматического контроля.

Функциональные назначения приборов: цифровая индикация текущего значения давления и преобразование давления жидкостей и газов в унифицированный токовый выходной сигнал.



Рисунок 19 – Манометр ДМ 5001.

### Основные технические характеристики

Диапазоны показаний приборов:

- ДМ5001 - от 0 до 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 60; 100; 160; 250; 400; 600; 1000; 1600 кгс/см<sup>2</sup>
- ДМ5001 - от -1 до 0 кгс/см<sup>2</sup>

- ДМ5001 - от -1 до 0,6; 1,5; 3; 5; 9; 15; 24 кгс/см<sup>2</sup>
- Предел допускаемой основной погрешности:  $\pm 1\%$
- Диаметр корпуса - 100 мм
- Степень защиты - IP65
- Средний срок службы - 8 лет
- Масса приборов - не более 1,2 кг
- Материал корпуса: алюминиевый сплав, держатель - латунь
- По устойчивости к климатическим воздействиям приборы имеют исполнение У2 по ГОСТ 15150-69 (но для работы при температуре от -40 до +50 °С), Т2 (от минус 10 до плюс 60)
- Приборы выдерживают воздействие вибрации в диапазоне частот от 10 до 55 Гц с амплитудой 0,35 мм (группа N2 по ГОСТ 12997-84)

### **ДМ5002**

В качестве эталона выбираем ДМ5002.

Манометры цифровые ДМ5002М (рисунок 20) предназначены для измерения избыточного и вакуумметрического, мановакуумметрического давления неагрессивных по отношению

к нержавеющей стали 12Х18Н10Т и титану, в том числе сероводородосодержащих, некристаллизующихся жидкостей, пара и газа, в т.ч. кислорода, в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами.

Приборы с пределом допускаемой погрешности не более  $\pm 0,25\%$  допускается использовать в качестве эталонных средств измерения в соответствии с Государственной поверочной схемой (ГОСТ Р 8.802-2012)



Рисунок 19 – Манометр ДМ 5002.

### Основные технические характеристики

- Диапазоны показаний приборов:
- ДМ5002М - от 0 до 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 60; 100; 160; 250; 400; 600; 1000; 1600, 2500 кгс/см<sup>2</sup>
- ДМ5002М- от -1 до 0 кгс/см<sup>2</sup>
- ДМ5002М- от -1 до 0; 0,6; 1,5; 3; 5; 9; 15; 24 кгс/см<sup>2</sup>
- Предел допускаемой основной погрешности:  $\pm 0,06$ ; 0,1; 0,15; 0,25%
- Диаметр корпуса - 100 мм
- Материал корпуса: алюминиевый сплав
- Степень защиты - IP54
- Масса приборов - не более 1,2 кг
- Средний срок службы - 8 лет
- Приборы выдерживают воздействие вибрации в диапазоне частот от 10 до 55 Гц с амплитудой 0,35 мм (группа N2 по ГОСТ 12997-84)
- По устойчивости к климатическим воздействиям приборы имеют исполнение УХЛ3.1 (для работы при температуре от минус 10 до плюс 70°C), а также исполнение У2 (для работы при температуре от минус 40 до плюс 70°C), ТЗ (для работы при температуре от минус 10 до плюс 70°C)

## Выбор датчика давления

В качестве датчика давления выбран СРС 3000 цифровой контроллер давления (см рисунок 21).



Рисунок 2 – СРС 3000.

Применение:

→ *Автоматическая задача и прецизионное измерение* давления при калибровке и поверка средств измерения давления: манометров, измерительных преобразователей избыточного, абсолютного и дифференциального давления в лабораторных условиях.

Особенности:

- Диапазоны задачи/измерения давления: от -100 кПа до 7.0 МПа.
- Предел допускаемой основной погрешности измерения:  $\pm 0.025\%$ ВПИ.
- Сенсорный ЖК дисплей, русифицированный интерфейс.
- Плавное повышение тестового давления (без выхода за точку уставки).

### Конкретные данные:

| Диапазоны задания/измерения избыточного давления |                   | Предел допускаемой основной погрешности измерения |
|--------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------|
| -40...40 кПа                                     | 0...160 кПа       | ±0.025% ВПИ                                       |
| -60...60 кПа                                     | 0...250 кПа       |                                                   |
| -100...100 кПа                                   | 0...400 кПа       |                                                   |
| -0.1...0.3 МПа                                   | 0...0.6 МПа       |                                                   |
| -0.1...0.5 МПа                                   | 0...1 МПа         |                                                   |
| -0.1...0.9 МПа                                   | 0...1.6 МПа       |                                                   |
| 0...40 кПа                                       | 0...2.5 МПа       |                                                   |
| 0...60 кПа                                       | 0...4.0 МПа       |                                                   |
| 0...100 кПа                                      | 0...6.0 (7.0) МПа |                                                   |

*Примечание:* опция барометрического сенсора позволяет производить измерение/контроль абсолютного давления, при этом диапазон рассчитывается как сумма диапазона для избыточного давления плюс 0.1 МПа, например, для диапазона 0...60 кПа избыточного давления диапазон контроля абсолютного давления 0...160 кПа.

Опция барометрического сенсора автоматически включает *отрицательную калибровку* и позволяет производить контроль отрицательного избыточного давления в диапазоне от -100 кПа (для диапазонов с ВПИ 100 кПа и выше) и с нижним отрицательным пределом, равном ВПИ для диапазонов с ВПИ 100 кПа и ниже (например -60...60 кПа).

### Дополнительные сведения:

*Память данных, интерфейс:* встроенная память для хранения результатов измерений, интерфейс RS232, Ethernet для подключения к ПК и работы с программным обеспечением Easycal. *Единицы измерения:* Па, кПа, бар,

МПа, кгс/см<sup>2</sup>, кгс/м<sup>2</sup>, мм.рт.ст, пси и т.д., единица, определяемая пользователем. *Питание:* сетевое 220В/50 Гц.  
*Диапазон рабочих температур:* 0...50°C. *Габаритные размеры, мм:* 259х350х148. *Рабочая среда:* сухой, не коррозионный газ (рекомендуется азот). *Штуцер:* 6 мм Swagelok. *Масса:* около 7,1 кг. *Сертификация:* контроллеры CPC-3000 прошли испытания с целью утверждения типа в Государственном реестре средств измерений (сертификат в стадии оформления, поверка уже осуществляется).

### Выбор интерфейсов связи

FT232R(AM) (рисунок 22) это микросхема — асинхронный однокристалльный двунаправленный преобразователь USB — интерфейс последовательный (RS232, RS422, RS485). FT232R включает в себя стабилизатор напряжения, USB приемопередатчик, UART контроллер и буферы, частотный умножитель, а также другие функциональные узлы, которые делают ее готовым решением для быстрой и недорогой модернизации системы с COM портом для работы с USB интерфейсом.

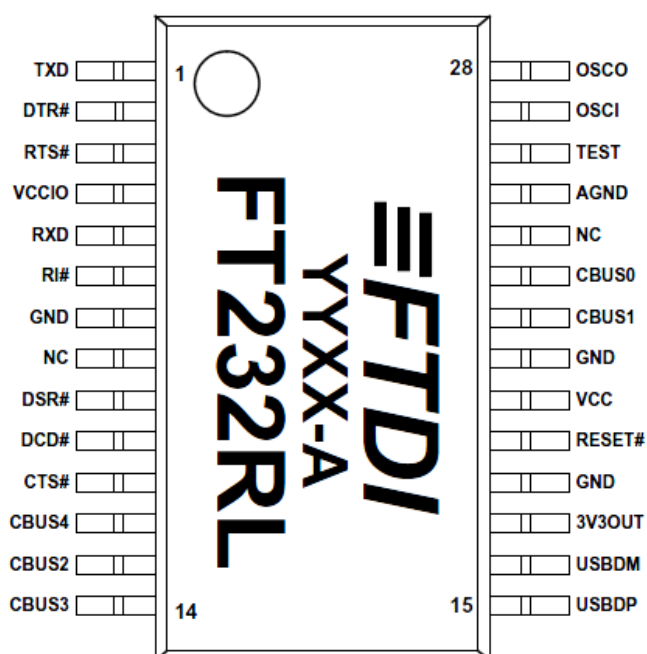


Рисунок 22 – Цоколевка микросхемы FT232R

FT232R является совместимым со спецификациями USB 1.1 и USB 3.0

### **Характеристики и особенности микросхемы FT232R:**

- однокиповый переходник из USB в асинхронный последовательный интерфейс передачи данных (UART);
- протокол USB полностью реализован в микросхеме; интерфейс UART поддерживает режимы передачи 7 и 8 бит данных, 1 и 2 стоповых бита, различные режимы контроля четности;
- поддержка управления потоком данных программного X-On / X-Off и аппаратного;
- скорости передачи от 300 бод до 3 мегабод для RS422 / RS485 / TTL и от 300 бод до 1 мегабод для RS-232;
- бесплатные VCP (виртуальный COM-порт) и D2XX (DLL) драйвера для разработчиков;

### **Проектирование принципиальной схемы устройства**

Подробное описание использованных элементов будет дано в последующих разделах.

Для питания микроконтроллера используется напряжение +5В.[15]

Встроенные в микроконтроллер ПЗУ удобны еще тем, что в случае необходимости можно запретить чтение записанной в них программы.

Внутреннее ОЗУ микроконтроллера имеет ёмкость не менее 128 байт.

Между выводами "XTAL1" и "XTAL2" подключается кварцевый резонатор. Частота кварца выбрана 11 МГц, поскольку высокая рабочая частота необходима для того, чтобы УП успевал выполнять все необходимые действия по поддержке обмена данными. В этом случае обеспечивается обмен данными с минимумом ошибок. Известно из практики, что при использовании кварцевого резонатора такого номинала, значения конденсаторов C1 и C2 следует выбирать в пределах 15-30пФ. Исходя из этого выбираем C1=C2=27пФ. На вход "ЕМА" УП следует подать напряжение питания, что укажет микроконтроллеру на необходимость работы с внутренней памятью программ.

На рисунке 23 Представлена типовая схема подключения микросхемы FT232R к порту USB. Как можно видеть по данному рисунку, при таком

подключении питание микросхема получает по шине USB. При питании от USB ток потребления не должен превышать 100 мА на одно устройство.

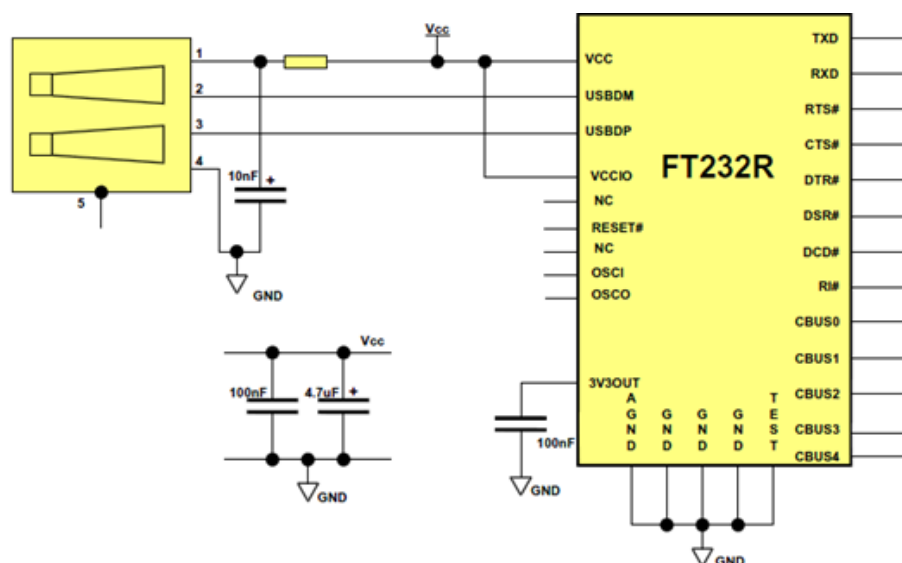


Рисунок 23 – Подключение микросхемы FT232R к порту USB

При подключении к хосту нескольких устройств на базе FT232R каждому из них назначается свой виртуальный COM порт, а серийные номера, VID и PID USB, строки с кратким описанием устройства должны быть предварительно запрограммированы в ЭСППЗУ. Программирование памяти осуществляется непосредственно в схеме по USB интерфейсу с помощью специальной утилиты, которая можно скачать с сайта производителя.

### Выбор элементов принципиальной схемы

Для удобства расчета целесообразно разбить схему на три части: измерительная, приемопередающая и сетевой блок питания.

**Расчет измерительной части.** АЦП измеряет сигнал в диапазоне от 0 до  $V_{ref}$ , де  $V_{ref}$  – опорное напряжение АЦП. Выберем в качестве источника  $V_{ref}$  напряжение питания микроконтроллера.

Расчет приемопередающей части.

Сопротивление портов микроконтроллера сконфигурированных как вход составляет 100 МОм[6]. Входное сопротивление микросхемы FT232 составляет 5 МОм[8]. Поэтому ими можно пренебречь в расчетах, считая их бесконечно большими.

Для защиты выходных линий контроллера используем токоограничивающие резисторы. Из [9] предельный ток вывода контроллера равен 10 мА

$$I = 10 \text{ мА}$$

$$R4 = \frac{U_{num}}{I} = \frac{5}{10 \cdot 10^{-3}} = 500 \text{ Ом} (560 \text{ Ом E24}) \quad (3.14)$$

Нормирующий усилитель выполним на операционном усилителе К140УД7, который имеет следующие параметры[15]:

- дифференциальный коэффициент усиления  $K_{\phi} = 50 \cdot 10^{-3}$  ;
- удельный температурный дрейф напряжения смещения равен  $6 \text{ мкВ мкВ} / ^{\circ} \text{C}$
- температурный дрейф разности входных токов равен  $0,4 \text{ нА} / ^{\circ} \text{C}$  ;
- номинальное напряжение питания  $E_n = 15 \text{ В}$  .
- $U_{вых.оу.ос} = U_{вх.ф} = 0,08 \text{ В}$  ;
- $\Delta T = 40^{\circ} \text{C}$  .

Определим номинал резистора:

$$R_{27,28} = \frac{U_{num} - U_{на\phi}}{I_{д}} = \frac{5 - 1,1}{10 \cdot 10^{-3}} = 640 - 125 = 515 \text{ Ом} (510 \text{ Ом, ряд E24}) \quad (3.15)$$

Номинал резистора  $R1$  равен  $R2 - R4$  .

Рассчитаем требуемую мощность для блока питания :

4. Потребление микроконтроллера при частоте работы 12 МГц составляет 9 мА. Следовательно, потребляемая мощность  $P_{DS1}$  равна:

$$5. \quad P_{DS1} = I_{DS1} \cdot U_{num} = 9 \cdot 10^{-3} \cdot 5 = 45 \text{ мВт.} \quad (3.16)$$

6. Потребление датчиков составляет не более 0,6 Вт, соответственно общее потребление не превысит 2,4 Вт.

7. Потребление индикатора составляет 120 мА:

$$P_{HG1} = I_{HG1} \cdot U_{num} = 120 \cdot 10^{-3} \cdot 5 = 600 \text{ мВт}$$

$$8. \quad P_{R1} = (U_{num})^2 / R1 = 5 / 10 \cdot 10^3 = 0,5 \text{ мВт.}$$

9. Потребление остальных элементов оценим с запасом в 10мА

10. Суммарная потребляемая мощность  $P_{\text{сум}}$  равна:

$$11. \quad P_{\text{сум}1} = P_{DS1} + P_{DA1} + P_{HG1} + P_{Oh} + P_{DT} = 600 + 120 + 10 + 2400 = 3130 \text{ мВт.} \quad (3.17)$$

12. Суммарная потребляемая мощность  $P_{\text{сум}}$  определяется в этом случае потреблением датчиков и не превысит 3,2 Вт

13. Максимальный выходной ток стабилизатора

$$14. \quad I_{DA5} = P_{\text{сум}} / U_{\text{нм}} = 3,2 / 5 = 0,64 \text{ А.} \quad (3.18)$$

**Расчет источника питания.** Рассчитаем источник питания с параллельной стабилизацией напряжения. Напряжение вторичной обмотки трансформатора равно 8В (действующее значение). Напряжение стабилизации стабилитрона –  $VD9 = 7,5\text{В}$ .

Напряжение на конденсаторе  $C5$  составит:

$$U_{C5} = (8 - U_{\text{мост}}) \cdot \sqrt{2} = 9,52, \quad (3.19)$$

где  $U_{\text{мост}}$  – падение напряжения на диодном мосту.

Установим максимальную величину пульсаций выходного напряжения  $\Delta U = 150 \text{ мВ}$ .

Определим максимальный ток делителя:

$$I_{\text{макс}} = P_{\text{сум}} / U_{\text{нм}2} = 3,2 / 7,5 = 0,31 \text{ А.} \quad (3.20)$$

Рассчитаем емкость конденсатора  $C1$ :

$$C1 = \frac{I_{\text{макс}} \cdot T / 2}{\Delta U} = \frac{0,3 \cdot 10^{-2}}{150 \cdot 10^{-3}} = 1773 \cdot 10^{-6} \text{ Ф ( 2200 мкФ)}.$$

Определим общую мощность, потребляемую блоком управления (линия 5В)

Максимальный выходной ток стабилизатора  $I_{DA2}$

$$I_{DA2} = P_{\text{сум}} / U_{\text{нм}} = 730 / 5 = 144,2 \text{ мА.} \quad (3.23)$$

Можно сделать вывод, что выбранный стабилизатор напряжения LM7805 удовлетворяет данной нагрузочной способности.

Принципиальная схема представлена на рисунке 24.

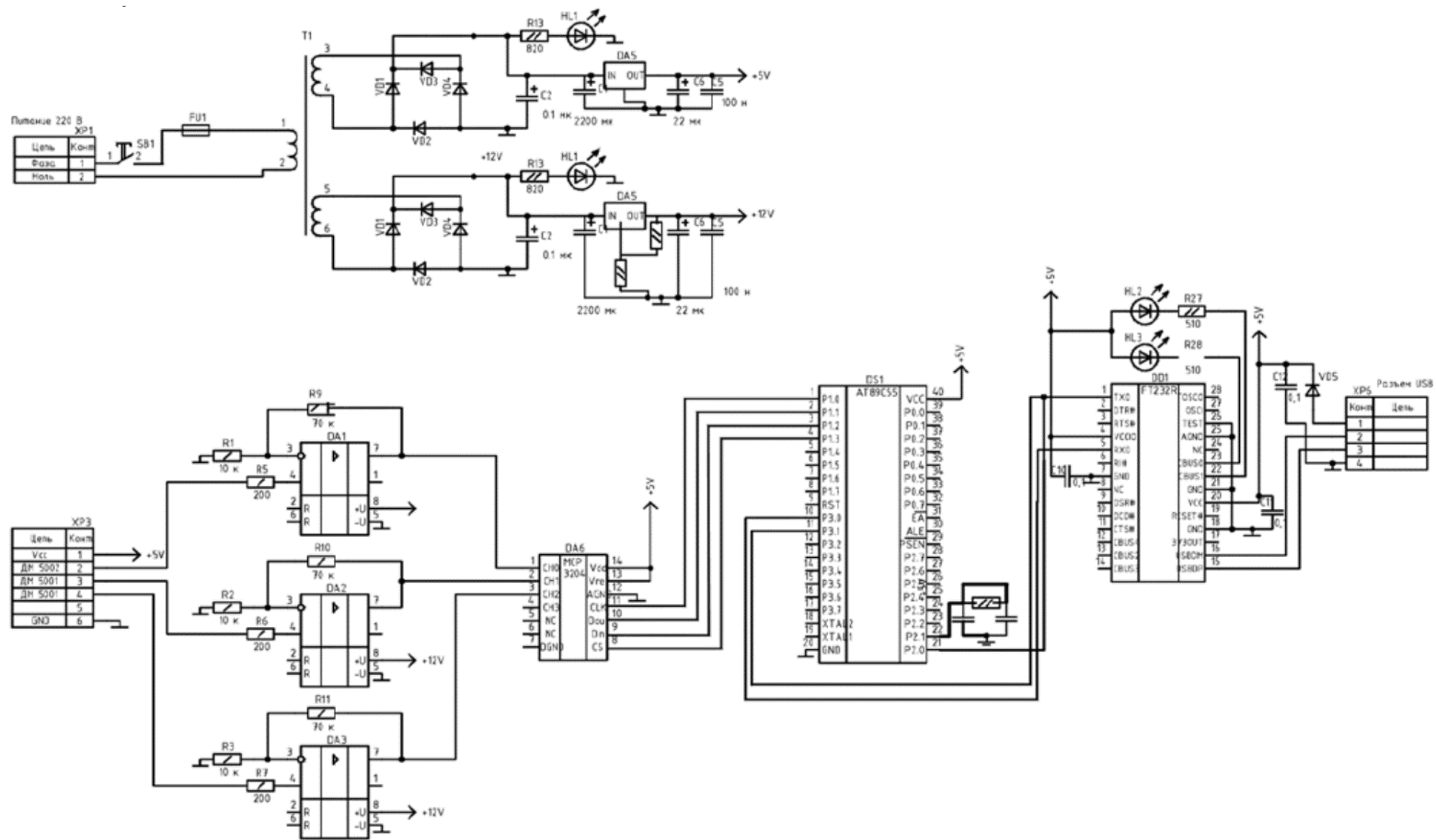


Рисунок 24 – Принципиальная схема.

## **Разработка программы**

### **Выбор среды для разработки и языка программирования**

Программа работы микроконтроллера написана на языке assembler восьмиразрядных RISC микроконтроллеров семейства AVR фирмы ATMEL .

Программа для устройства была написана и отлажена в среде для разработки AVR Studio.

### **Разработка алгоритма работы**

На рисунке 25 представлена блок схема алгоритма работы микроконтроллера устройства измерения.

В блок-схеме применены условные обозначения:

N – счетчик выборок, переменная в которой хранится текущее количество сделанных выборок тока и напряжения;

K – счетчик времени, переменная, хранящая интервал времени между моментами сохранения измеренных данных в EEPROM с шагом 5,12 с.

При подаче питания микроконтроллер инициализирует порты ввода-вывода, переводя их в высокоимпедансное состояние, производит настройку и запуск таймера. Таймер отсчитывает время между выборками. При переполнении таймера генерируется запрос на прерывание и происходит запуск подпрограммы управления АЦП.

После запуска таймера, микроконтроллер производит настройку АЦП, и обнуляет переменные K и N. Далее, микроконтроллер находится в цикле ожидания пока значение переменной N не превысит 4096, что соответствует 256 периодам при 16 выборках в каждом. Далее происходят определение уровня давления, а также последовательные вычисления и вывод результата на дисплей.

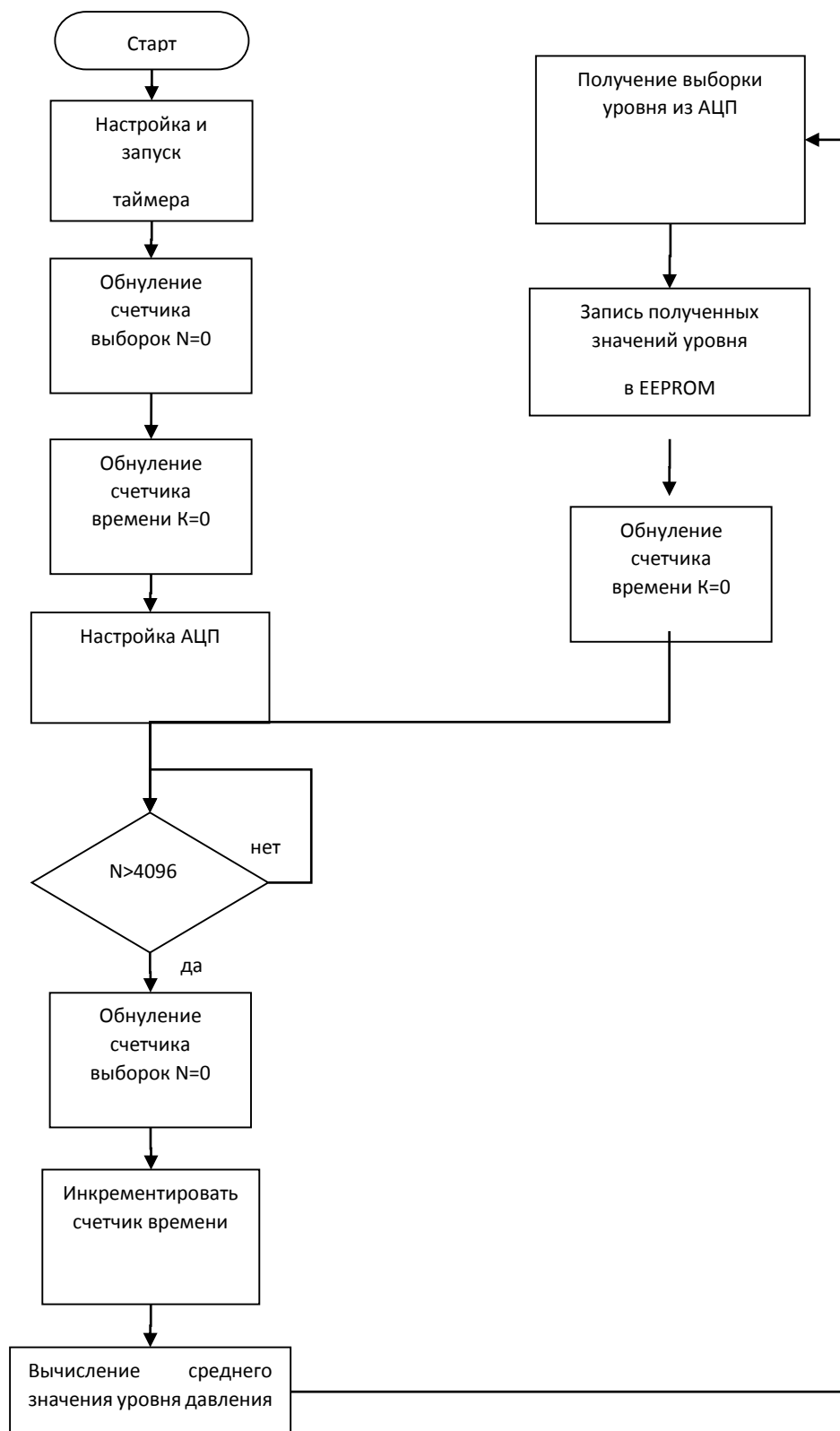


Рисунок 25 – Блок схема работы системы

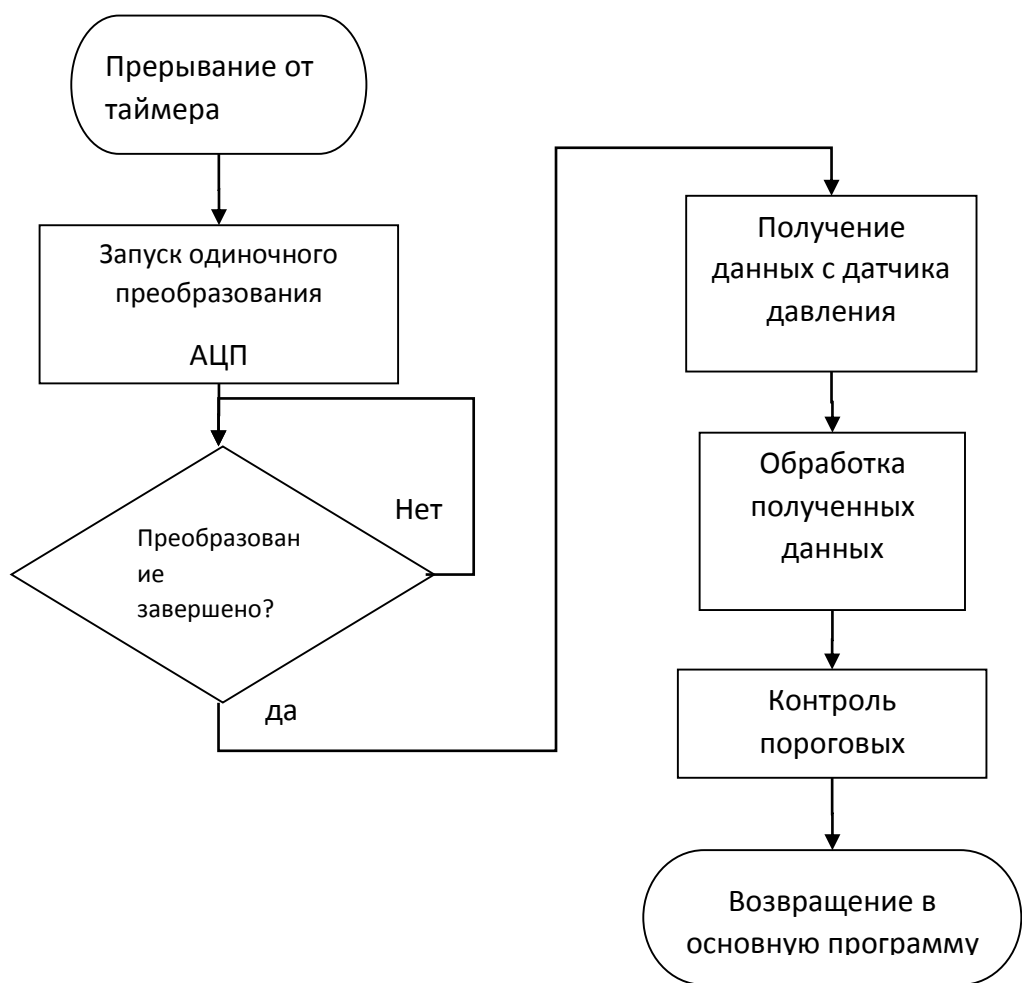


Рисунок 26 – Блок схема подпрограммы таймера

На рисунке 26 представлена блок-схема подпрограммы обработки прерываний от UART(прием)

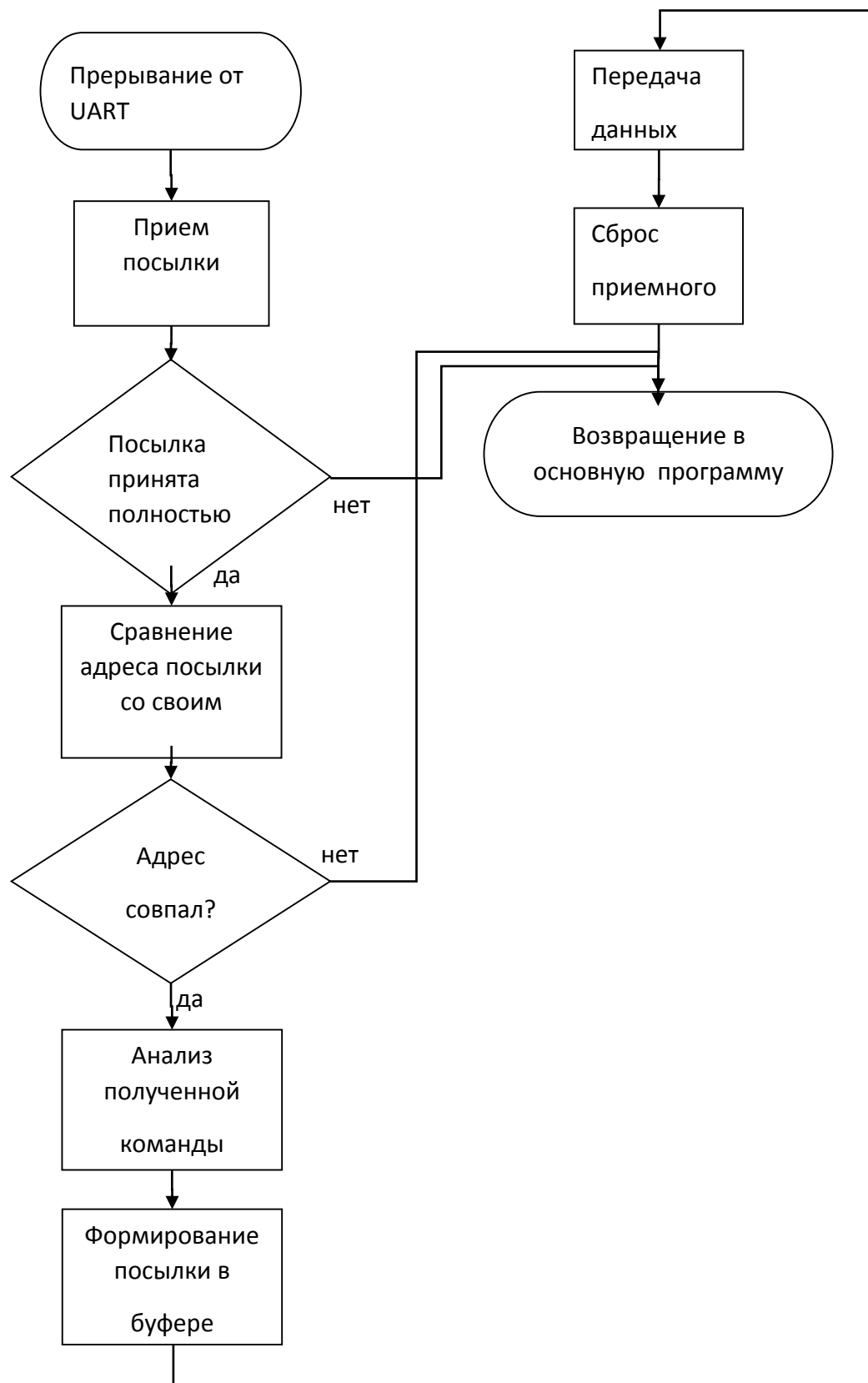


Рисунок 27 – Блок схема подпрограммы приема данных

## 5 Анализ надежности

В современных информационно-измерительных системах, где одновременно задействованы десятки и сотни тысяч элементов, необходимо добиваться очень высокой надежности конечного изделия. Основная причина возникновения проблемы надёжности - рост сложности измерительных систем, связанный с расширением сферы решаемых ею задач и повышением ответственности функций, выполняемых ею. В связи с этим, повышение надежности элементов системы является одной из важнейших проблем измерительной техники.

Согласно ГОСТ 27.002-89 под надежностью понимают свойство системы (способность) выполнять все возложенные на его функции, на требуемом уровне в течение заданного промежутка времени, в определенных условиях эксплуатации [12].

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения прибора и условий ее эксплуатации может включать:

1 долговечность – свойство системы сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов;

2 ремонтпригодность - свойство системы, заключающееся в приспособлении к предупреждению и обнаружению причин возникновения их последствий путем проведения профилактических и капитальных ремонтов и технического обслуживания;

3 сохраняемость – свойство системы непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течении использования, после хранения и транспортировки.

Эти свойства могут быть исследованы в отдельности или в определенном сочетании, как для системы, так и для ее частей.

Показатели надёжности нормируются для элементов прибора, которые могут находиться только в одном из двух состояний: работоспособном и

неработоспособном. Исходя из этого, основным свойством прибора является безотказность, т.е. свойство непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки. Нарушение безотказности прибора сопровождается ремонтом или восстановлением утраченных свойств.

Безотказность характеризуется следующими показателями:

1. вероятностью безотказной работы системы  $P_C$  – вероятность того, что в заданном интервале времени при заданных режимах и условиях работы элемент или прибор будут выполнять заданные функции и сохранять свои параметры;

2. интенсивностью отказов системы  $\lambda_C$  – число отказов в единицу времени, отнесённое к числу элементов, оставшихся исправными к началу рассматриваемого промежутка времени;

3. средним временем наработки на отказ  $T_{CP}$  – среднее число часов между двумя соседними отказами. В зависимости от характера проявления, отказы бывают внезапные и постепенные. Внезапные – скачкообразные изменения основного параметра объекта; постепенные – постепенное изменение основного параметра объекта.

Используются несколько методов приближённой оценки надёжности:

расчёт надёжности по среднегрупповым интенсивностям отказа;

коэффициентный метод, заключающийся в использовании при расчёте характеристик надёжности коэффициентов, связывающих интенсивность отказов элементов различных типов с интенсивностью отказа элемента, характеристики которого достоверно известны;

расчёт надёжности с использованием данных, полученных в результате эксплуатации.

Расчет надёжности прибора может быть произведен при наличии полной принципиальной схемы системы, необходимых данных об интенсивности отказов всех элементов, входящих в систему с учетом реальных условий эксплуатации.

При расчёте надёжности с учётом возможных отказов делаются следующие допущения:

- отказы являются событием случайным и независимым;
- отказ любого элемента приводит к отказу всего прибора в целом, т.к. схема состоит из последовательно соединённых блоков (нерезервированная система);
- все однотипные элементы равнонадёжны, т.е. независимо от режимов работы имеют одинаковую интенсивность отказов.

Исходя из этих допущений, вероятность безотказной работы сложной нерезервированной системы определяется по формуле:

$$P_C = \prod_{i=1}^N P_i(t) = e^{-t \cdot \sum_{i=1}^N n_i \cdot \lambda_i}$$

где  $t$  - время работы, ч;

$N$  – число групп элементов;

$n_i$  – число элементов в одной группе;

$\lambda_i$  - интенсивность отказов группы элементов, ч<sup>-1</sup>.

Интенсивность отказов системы определяется по формуле

$$\lambda_C = \sum_{i=1}^N n_i \cdot \lambda_i$$

Среднее время наработки на отказ определяется

$$T_{CP} = \frac{1}{\lambda_C} \quad (\text{ч})$$

Следовательно, вероятность безотказной работы системы определяется по формуле

$$P_C = e^{-\frac{t}{T_C}}$$

Для расчёта интенсивности отказов группы элементов необходимо знать соответствующие составы групп и среднестатистическое значение интенсивности отказов элементов группы в заданных условиях эксплуатации

$$\lambda_i = \lambda_{oi} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot \alpha_i(t_k, K_H),$$

где  $\lambda_{oi}$  – номинальная интенсивность отказов элементов группы, ч<sup>-1</sup>;

$K_1, K_2$  – поправочные коэффициенты на воздействие механических факторов;

$K_3$  – поправочный коэффициент на воздействие влажности;

$\alpha(t_k, K_H)$  – поправочный коэффициент на температуру поверхности компонента ( $t_k$ ) и коэффициента электрической нагрузки ( $K_H$ ).

Система будет находиться в лабораторных условиях, следовательно коэффициенты  $K_1, K_2$  и  $K_3$  принимаем равными единице [13].

Таким образом, интенсивность отказов системы равна

$$\lambda_C = \sum_{i=1}^N n_i \lambda_{oi} \cdot \alpha_i(t_k, K_H)$$

Коэффициент нагрузки  $K_{Hi}$  рассчитываются по формулам:

Коэффициент нагрузки для резисторов

$$K_H = \frac{P_p}{P_H},$$

где  $P_p$  – мощность, рассеиваемая на резисторе, Вт;

$P_H$  – номинальная рассеиваемая мощность, Вт.

Коэффициент нагрузки для конденсаторов

$$K_H = \frac{U_p}{U_H},$$

где  $U_p$  – рабочее напряжение, В;

$U_H$  – номинальное напряжение, В.

Коэффициент нагрузки для транзисторов:

$$K_H = \frac{P_k}{P_{k\text{доп}}},$$

где  $P_k$  – рабочая мощность, рассеиваемая на коллекторе, мВт;

$P_{k\text{ доп}}$  – максимально допустимая мощность, рассеиваемая на коллекторе,

мВт.

Коэффициент нагрузки для полупроводниковых диодов:

$$K_H = \frac{U_0}{U_{0\text{доп}}},$$

где  $U_0$ - рабочее обратное напряжение, В;

$U_{0\text{доп}}$ - максимально допустимое обратное напряжение , В.

Для аналоговых и цифровых микросхем, работающих в номинальном режиме, принимаем  $K_H=1$ .

Карта режимов работы элементов схемы управления приведена в таблице2.

Таблица 2 – Карта режимов работы схемы управления

| Наименование элементов | Номинальный параметр | Рабочий параметр | $K_H$ |
|------------------------|----------------------|------------------|-------|
| Резисторы:             | мВт                  | мВт              |       |
| R1-R16                 | 250                  | 125              | 0,5   |
| Конденсаторы:          | В                    | В                |       |
| C1-C13                 | 16                   | 5                | 0,3   |
| Микросхемы цифровые:   |                      |                  |       |
| DD1                    | -                    | -                | 1     |
| Микросхемы аналоговые: |                      |                  |       |
| DA1-DA6                | -                    | -                | 1     |
|                        |                      |                  |       |
| Индикаторы HL1-HL4     | -                    | -                | -     |
| Диоды:                 | В                    | В                |       |
| VD1-VD9                | 0,05                 | 0,004            | 0,1   |
| Кварцевый резонатор    | ZQ1                  |                  | 1     |
| Соединения паяные      | -                    | -                | -     |

Поправочные коэффициенты  $\alpha(t_k, K_H)$  определяются по графикам [13]  
Температуру компонентов примем равной 35°C. Результаты расчётов интенсивностей отказов элементов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Интенсивность отказов элементов

| Элемент             | Обозначение | Количество элементов | Коэффициент нагрузки | Средняя интенсивность отказов                   | Интенсивность отказов с учетом внешних условий | Интенсивность отказов в рабочем режиме                       | Суммарная интенсивность отказов,      |
|---------------------|-------------|----------------------|----------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
|                     |             |                      | кн                   | $\lambda_{\text{ср}} \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$ | $\lambda_i \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$          | $\lambda_i \cdot \alpha(t_k, K_H) \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$ | $\lambda_i \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$ |
| Конденсаторы        | C1-C13      | 13                   | 0,3                  | 0,2                                             | 0,15                                           | 0,024                                                        | 0,31                                  |
| Микросхемы          | DD1         | 7                    | 1                    | 0,01                                            | 0,01                                           | 0,01                                                         | 0,07                                  |
|                     | DA1, DA6    |                      |                      |                                                 |                                                |                                                              |                                       |
| Кварцевый резонатор | QZ-1        | 1                    | 1                    | 0,05                                            | 0,05                                           | 0,05                                                         | 0.05                                  |
| Резисторы           | R1-R16      | 16                   | 0,5                  | 0,05                                            | 0,05                                           | 0,03                                                         | 0,81                                  |

|                      |                 |     |     |       |        |      |                        |
|----------------------|-----------------|-----|-----|-------|--------|------|------------------------|
| Диоды                | VD1<br>-<br>VD9 | 9   | 0,1 | 0,2   | 0,2    | 0,08 | 0,32                   |
| Паяные<br>соединения | -               | 160 | 1   | 0,004 | 0,1125 | 0,01 | 0,45                   |
| индикаторы           | HL1-<br>HL4     | 4   | 1   | 0,25  | 0,25   | 0,01 | 0.04                   |
| Итог                 |                 |     |     |       |        |      | $10,275 \cdot 10^{-6}$ |

Интенсивность отказов элементов системы в целом:

$$\lambda_c = 10,27 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$$

Рассчитаем среднее время наработки на отказ:

$$T_{cp} = \frac{1}{10,27 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}} = 97323 \text{ ч}$$

Таким образом, вероятность безотказной работы системы в течение 1000 часов составляет:

$$P_c = e^{-\frac{1000 \text{ ч}}{97323 \text{ ч}}} = 0,999 ,$$

## 6 Анализ погрешности

При рационально спланированной методике измерения, тщательности выполнения измерительных операций результат измерений отличается от истинного значения измеряемой величины. Отклонение результата измерений от истинного значения измеряемой величины является погрешностью.

Величина погрешности характеризует точность, являющуюся основной оценкой качества измерительной системы.

Анализ погрешностью проектируемой измерительной системы можно осуществлять по структурной схеме, что даст возможность выявить значение каждого преобразующегося блока в формировании общей погрешности.

Погрешность по причинам и условиям возникновения делится на основную и дополнительную. Основная погрешность обусловлена не идеальностью свойств измерительной системы и показывает отличие действительной функции преобразования в нормальных условиях от номинальной. Дополнительная погрешность возникает при отклонении условий от нормального значения.

Основная погрешность имеет аддитивную и мультипликативную составляющие.

Мультипликативная погрешность обусловлена изменением коэффициентов преобразования системы. При достаточно малых изменениях можно пренебречь членами второго и большего порядка малости, тогда относительное изменение коэффициента преобразования измерителя равно относительной мультипликативной погрешности:

$$\gamma_{МП}^2 = \left(\frac{\Delta K}{K}\right)^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\Delta K_i}{K_i}\right)^2 = \left(\frac{\Delta K_{МП}}{K_{МП}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta K_{У}}{K_{У}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta K_{АП}}{K_{АП}}\right)^2,$$

$$\gamma_{МП} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \gamma_i^2} = \sqrt{\gamma_{ММ}^2 + \gamma_{У}^2 + \gamma_{АЦП}^2},$$

где,  $\Delta K$  – абсолютная погрешность коэффициента преобразования измерителя;

$\Delta K_i$  – абсолютная погрешность коэффициента преобразования  $i$ -блока;

$\gamma_i$  – относительная погрешность коэффициента преобразования  $i$ -блока.

Таким образом, для определения погрешности всего измерительного прибора необходимо определить относительные погрешности каждого блока.

Погрешность первичного измерительного преобразователя определяется погрешностью датчика, составляющего 0,25%.

Коэффициент преобразования АЦП последовательного приближения определяется по формуле:

$$K_{АЦП} = \frac{N}{U_{ВХ\ АЦП}} = \frac{N_{MAX}}{U_0}; (102)$$

где  $U_0$  – напряжение источника опорного напряжения.

Отсюда:

$$\frac{\Delta K_{АЦП}}{K_{АЦП}} = \frac{\Delta N_{max}}{N_{max}} + \frac{\Delta U_0}{U_0} \Rightarrow \gamma_{АЦП} = \sqrt{\gamma_{\delta}^2 + \gamma_{U_0}^2}; (103)$$

где  $\gamma_{\delta}$  – погрешность дискретизации;

$\gamma_{U_0}$  – погрешность источника опорного напряжения.

погрешность АЦП определяется погрешностью дискретизации, зависящей от уровня квантования:

$$\gamma_{АЦП} = \gamma_{\delta} = \frac{1}{N_{max}} \Rightarrow \gamma_{АЦП} = \frac{1}{1024} \cdot 100\% = 0,0977\%;$$

В результате относительная мультипликативная погрешность измерительного прибора составит:

$$\gamma_{МП} = \sqrt{0,0707^2 + 0,25^2 + 0,0977^2} = 0,496\%;$$

Аддитивная погрешность, характеризуемая наложением помех на полезный сигнал, вызывается дрейфом «нуля» операционных усилителей и

АЦП. Результирующая аддитивная погрешность, приведенная ко входу составит:

$$\gamma_A = \frac{\delta Y_y}{X \cdot K_y} + \frac{\delta Y_{АЦП}}{X \cdot K_y \cdot K_{АЦП}}; (104)$$

где  $\delta Y_y$  – напряжение смещения нуля ДУ, мВ;

$\delta Y_{АЦП}$  – напряжение смещения АЦП;

$K_y$  – коэффициент преобразования ДУ;

$K_{АЦП}$  – коэффициент преобразования АЦП.

С учетом  $K_y=1$ ,  $K_{АЦП}=100$ ,  $X=6В$ .

$$\gamma_{АД} = 0,001\%;$$

## **7 Конструкторско-технологическая часть**

### **Разработка конструкции**

Разработанный комплекс будет использоваться для поверки датчиков давления.

Данный комплекс отвечает конструктивно-технологическим, эксплуатационным, надёжностным и экономическим требованиям, оптимальное сочетание которых обеспечивает важнейшие характеристики устройства: надёжность, достоверность показаний, допустимые условия эксплуатации.

В Приложении Б представлен общий чертеж. Корпус прибора имеет размер 90X100X30 мм. На передней панели находится выключатель питания, разъем USB. На боковой панели находятся три разъема для подключения датчиков давления и один датчик для подключения задатчика давления. Внутри корпуса находится печатная плата.

В приложении В представлен чертеж оригинальной детали – боковой панели. Толщина стенки – 2 мм.

### **Разработка печатной платы (ПП)**

#### **Общие технические требования к ПП**

Изготовление ПП должно производиться согласно всем требованиям чертежа и технических условий. К ПП предъявляются следующие требования:

Поверхность ПП не должна иметь пузырей, вздутий, посторонних включений, трещин и расслоений материала основания, снижающих электрическое сопротивление и прочность изоляции. Материал основания ПП должен быть таким, чтобы при обработке (сверление, штамповка, распиловка), не образовывались трещины, отслоения и другие неблагоприятные явления, влияющие на эксплуатационные свойства, а также на электрические параметры плат.

Ширина печатных проводников и расстояние между ними устанавливаются требованиями чертежа. Печатные проводники должны быть с

ровными краями. Цвет медного проводника может быть от светло-розового до темно-розового. Для повышения качества и надёжности проводников часто применяются гальванические покрытия, которые обеспечивают защиту проводников от коррозии, увеличивают сопротивление механическому износу, позволяют повысить предельно допустимые токи в схеме. На печатных проводниках недопустимы механические повреждения.

Толщина ПП также ограничена. В соответствии с международными требованиями номинальными толщинами ПП являются следующие: 0.2; 0.5; 0.8; 1.6; 2.4; 3.2; 6.4 мм. Величина допуска на толщину платы определяется чертежом. Прочность сцепления печатных проводников с основанием ПП определяет качество и надёжность печатной схемы ПП, предназначенные для установки радиоэлементов с гибкими выводами (резисторы, конденсаторы и т.п.), должны выдерживать не менее 5 одиночных перепаек, а ПП, предназначенные для установки многовыводных элементов (микросхемы и т.п.), - не менее 3 перепаек. Устойчивость при механических воздействиях и прочность ПП обеспечивается конструкцией узла или блока.

### **Расчет конструктивных и электрических параметров печатной платы**

Основной целью процесса конструирования является создание коммутационного устройства для объединения группы радиоэлементов в функциональный узел с обеспечением требуемых механических и электрических параметров в заданном диапазоне эксплуатационных характеристик при минимальных затратах. Для этого необходимо: выбрать тип печатной платы, определить класс точности, установить габаритные размеры и конфигурацию, выбрать материал основания для печатной платы, разместить навесные элементы, определить размеры элементов рисунка, разместить их на плате и осуществить трассировку, обеспечить автоматизацию процессов изготовления и контроля платы и процесса сбора, изготовить конструкторскую документацию. Размеры платы выбираются на основании некоторых конструктивных расчетов.

Согласно ГОСТ 10317-79 «Платы печатные. Основные размеры» размеры каждой стороны ПП должны быть кратными:

2.5 при длине до 100 мм;

5.0 - 350 мм;

10.0 - более 350 мм.

Максимальный размер любой из сторон должен быть не более 470 мм. Допуски на линейные размеры платы должны соответствовать установленным стандартами ГОСТ 25346-82 и ГОСТ 25347-82. Стандарт ГОСТ 23751-86 устанавливает 5 классов точности ПП. Исходя из этого положения выбираем 3-й класс точности для изготовления нашей платы (ПП с микросборками и микросхемами, имеющими штыревые и планарные выводы при средней и высокой насыщенности поверхности ПП навесными элементами).

Все электрические соединения на плате выполнены пайкой, обеспечивающей достаточное механическое крепление элементов и хорошее электрическое соединение выводов элементов с проводниками плат. Микросхемы устанавливаются на плате с учетом некоторых требований: учет электрических связей между микросхемами и другими элементами схемы; получение требуемой плотности компоновки монтажа; возможность замены микросхемы при изготовлении и настройке устройства.

Рекомендуется разрабатывать печатные платы с соотношением сторон не более 3:1. Разработанная плата с размерами 80x75 мм удовлетворяет ГОСТ 4.010.020-83, ограничивающего ГОСТ 10317-79.

Толщина печатной платы определяется исходным материалом, используемой элементной базой и воздействующими механическими нагрузками. Все монтажные отверстия располагают в зоне контактных площадок. Металлизированные отверстия должны иметь контактные площадки с двух сторон печатной платы. Контактные площадки должны быть круглой формы, а предназначенные под установку первого вывода микросхем должны иметь квадратную форму.

Разработанная плата имеет размеры 80x75 мм и изготовлена из стеклотекстолита СФ2-35Г ГОСТ 165-74

Разводка платы выполнялась при помощи программы Р-CAD 2006.

## **8 Социальная ответственность:**

### **Введение**

Данная работа посвящена разработке автоматизированного информационно-измерительного комплекса для поверки датчиков давления, который призван с одной стороны снизить процент ошибок, связанных с контролем давления - одного из важнейших параметров в технологических процессах, с другой стороны облегчить труд поверителя, снижая физическую нагрузку на работника, одновременно повышая производительность труда.

При проведении поверки выполняют следующие операции:

- внешний осмотр;
- проверка электрического сопротивления изоляции;
- опробование;
- определение основной приведенной погрешности прибора со специализированным входом;
- определение основной приведенной погрешности прибора с универсальным входом;
- определение основной приведённой погрешности выходного устройства канала регистрации

При проведении поверки соблюдают следующие условия:

температура окружающего воздуха, °C  $20 \pm 5$

относительная влажность окружающего воздуха, % 30-80

атмосферное давление, кПа 84,0 – 106,7

напряжение питания, В 220

частота питающей сети, Гц  $50 \pm 1$

Средства поверки и поверяемые приборы должны быть защищены от вибраций и ударов.

## Техногенная безопасность

### Анализ вредных факторов производственной среды

#### Влияние электромагнитного излучения

В настоящее время о влиянии электромагнитного излучения на организм человека, практически не известно ничего, да и за компьютерами мы сидим пока лет 20. Все же некоторые работы и исследования в этой области определяют возможные факторы риска, так, например, считается, что электромагнитное излучение может вызвать расстройство нервной системы, понижение иммунитета, расстройства сердечнососудистой системы и аномалии в процессе беременности.

Таблица 4 *Предельно допустимые уровни электромагнитного поля для потребительской продукции, являющейся источником ЭМП*

| Источник                         | Диапазон     | Значение<br>ПДУ                              | Примечание                                                                                        |
|----------------------------------|--------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Индукционные<br>печи             | 20 - 22 кГц  | $E=500$ В/м<br>$H=4$ А/м                     | Условия измерения:<br>расстояние 0,3 м от<br>корпуса                                              |
| СВЧ печи                         | 2,45 ГГц     | ППЭ=10<br>мкВт/см <sup>2</sup>               | Условия измерения:<br>расстояние $0,50 \pm 0,05$ м от любой<br>точки, при нагрузке<br>1 литр воды |
| Видеодисплейный<br>терминал ПЭВМ | 5 Гц - 2 кГц | $E_{пду} = 25$ В/м<br>$B_{пду} = 250$<br>нТл | Условия измерения:<br>расстояние 0,5 м<br>вокруг монитора                                         |
|                                  | 2 - 400 кГц  | $E_{пду} = 2,5$<br>В/м<br>$B_{пду} = 25$ нТл | ПЭВМ                                                                                              |

|                  |                                                  |                                |                                                                      |
|------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|                  | поверхностный<br>электростатический<br>потенциал | $V = 500 \text{ В}$            | Условия измерения:<br>расстояние 0,1 м от<br>экрана монитора<br>ПЭВМ |
| Прочая продукция | 50 Гц                                            | $E = 500 \text{ В/м}$          | Условия измерения:<br>расстояние 0,5 м от<br>корпуса изделия         |
|                  | 0,3 - 300 кГц                                    | $E = 25 \text{ В/м}$           |                                                                      |
|                  | 0,3 - 3 МГц                                      | $E = 15 \text{ В/м}$           |                                                                      |
|                  | 3 - 30 МГц                                       | $E = 10 \text{ В/м}$           |                                                                      |
|                  | 30 - 300 МГц                                     | $E = 3 \text{ В/м}$            |                                                                      |
|                  | 0,3 - 30 ГГц                                     | ППЭ = 10<br>$\text{мкВт/см}^2$ |                                                                      |

Средствами индивидуальной защиты оператора для систем выпуска до 1996 г являются: белый хлопчатобумажный халат с антистатической пропиткой; экранный защитный фильтр класса «полная защита»; специальные спектральные очки. Современные ПК имеют встроенную защиту, и дополнительная защита оператору не требуется.

#### **Электростатическое поле.**

При работе компьютер создает вокруг себя электростатическое поле, которое деионизирует окружающую среду. Всё это делает воздух весьма сухим, слабо ионизированным, со специфическим запахом и в общем "тяжёлым" для дыхания. Разумеется, такой воздух не может быть полезен для организма.

Предельно допустимая напряженность электростатического поля ( $E_{\text{доп}}$ ) на рабочих местах обслуживающего персонала не должна превышать следующих величин:

при воздействии до 1 часа - 60 кВ/м;

при воздействии свыше 1 часа до 9 часов величина  $E_{\text{доп}}$

определяется или по формуле:

$$E_{\text{доп}} = \frac{60}{t} \text{ кВт}$$

(t - время в часах от 1 до 9),

Основными мерами уменьшения напряженности электростатического поля в рабочей зоне являются:

- экранирование источника поля или рабочего места;
- применение нейтрализаторов статического электричества;
- уменьшение скорости переработки или транспортирования материалов;
- удаление зон пребывания обслуживающего персонала от источников электростатических полей.

В качестве индивидуальных средств защиты могут применяться антистатическая обувь, антистатические халаты и другие средства, обеспечивающие электростатическое заземление тела человека.

### **Монитор и зрение**

В связи с тем, что монитор находится на близком расстоянии, мышцы глаз управляющие хрусталиком, постоянно напряжены. Помимо этого, дополнительное напряжение глаз создаётся принципом работы монитора, т.е., обычно глаз воспринимает отражение света от предметов, монитор же сам является источником света. К этому прибавим мерцание (в случаях если частота регенерации монитора менее 5 кадров в секунду), очень редкое моргание глаза, блики на экране и т.д. и получим все предпосылки к развитию близорукости, ухудшению зрения, быстрой усталости глаз и другим расстройствам.

В процессе труда на поверителя оказывают действие следующие вредные производственные факторы:

физические:

- повышенные уровни электромагнитного излучения;
- повышенный уровень инфракрасного излучения;
- повышенный уровень статического электричества;
- повышенная яркость светового изображения;

- напряжение зрения;

Современные ПК имеют встроенную защиту, и дополнительная защита оператору не требуется.

### **Неблагоприятный микроклимат в помещении.**

Помещение с установленной вычислительной техникой имеет повышенную температуру, пониженную влажность, что создает неблагоприятный климат.

Таблица 5 Оптимальные нормы микроклимата для помещений с ПК

| <b>Период года</b> | <b>Категория работ</b> | <b>Температура воздуха С °, не более</b> | <b>Относительная влажность воздуха, %</b> | <b>Скорость движения воздуха, м/с</b> |
|--------------------|------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|
| Холодный           | Легкая – 1а            | 22-24                                    | 40-60                                     | 0,1                                   |
|                    | Легкая – 1б            | 21-23                                    | 40-60                                     | 0,1                                   |
| Теплый             | Легкая – 1а            | 23-25                                    | 40-60                                     | 0,1                                   |
|                    | Легкая – 1б            | 22-24                                    | 40-60                                     | 0,2                                   |

Для улучшения микроклимата помещение перед началом и после окончания работы, должно быть проветрено, что обеспечивает улучшение качественного состава воздуха.

Влажная уборка кабинета с вычислительной техникой должна производиться обязательно один раз в день.

### **Недостаточное освещение рабочей зоны**

Недостаточное освещение приводит к преждевременной усталости работника, появлению чувства сонливости, снижению его продуктивности, росту вероятности ошибочных действий.

В производственных и административно-общественных помещениях, в случае преимущественной работы с документами, допускается применение системы комбинированного освещения.

Освещенность поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500лк. [1]

В качестве источников света при искусственном освещении должны применяться преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ. При устройстве отраженного освещения в производственных и административно-общественных помещениях допускается, применение метало галогенных ламп мощностью до 250Вт. Допускается применение ламп накаливания в светильниках местного освещения. Коэффициент запаса ( $K_z$ ) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4.

Для обеспечения нормируемых значений освещенности следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже 2 раз в год и проводить своевременную замену сгоревших ламп.

#### **Анализ опасных факторов производственной среды**

В процессе труда на поверителя оказывают действие следующие опасные производственные факторы:

##### **физические:**

повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;

При проведении поверки необходимо соблюдать требования ГОСТ 12.3.019-92, «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей», «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

Наряду с использованием ПК (при выполнении функций оператора ПК), при работе с автоматизированным информационно-измерительным комплексом для поверки датчиков давления требуется обеспечить безопасность работы с давлением (при выполнении функций поверителя).

При проведении поверки запрещается:

создавать давление, превышающее верхний предел измерений поверяемого прибора;

снимать прибор с устройства для создания давления при значениях давления более:

100 кПа для приборов с' верхним пределом измерений более

100 МПа;

50 кПа для остальных приборов.

Рабочее место, устройства для создания давления, инструмент и другие принадлежности должны отвечать требованиям техники безопасности, промсанитарии и эстетики.

Противопожарная безопасность выполнения работ показана в пункте 5.

### **Региональная безопасность**

#### **Защита атмосферы**

На манометровом заводе в результате проводимых работ периодически образуются утечка газа и углеводорода, что загрязняет окружающую среду.

Для защиты воздушного бассейна от негативного антропогенного влияния в виде загрязнения его вредными веществами применяют следующие меры:

- очистку газовых выбросов от вредных примесей;
- рассеивание газовых выбросов в атмосфере;

Наиболее радикальная мера охраны воздушного бассейна от загрязнения - экологизация технологических процессов и в первую очередь создание замкнутых технологических циклов, безотходных и малоотходных технологий, исключающих попадание в атмосферу вредных загрязняющих веществ.

#### **Защита гидросферы**

Поверхностные воды защищают от засорения, загрязнения и истощения. Для защиты от засорения предотвращают попадание в поверхностные водоемы и реки разных твердых отходов и других предметов. Для защиты от истощения проверяют минимально допустимые стоки вод. Для защиты от загрязнения применяют следующие мероприятия:

развитие безотходных и безводных технологий и оборотного водоснабжения;

очистка сточных вод (промышленных, коммунально-бытовых и др.);

закачка сточных вод в глубокие водоносные горизонты (подземное захоронение);

очистка и обеззараживание поверхностных вод, используемых для водоснабжения и других целей.

### **Защита литосферы**

Можно выделить следующие основные направления:

Защита почв.

Охрана и рациональное использование недр: наиболее полное извлечение из недр основных и попутных полезных ископаемых; комплексное использование минерального сырья, включая проблему утилизации отходов.

Рекультивация нарушенных территорий.

### **Организационные мероприятия обеспечения безопасности.**

В соответствии с ГОСТ 12.02.038 размеры рабочего места при работе сидя должны быть:

- высота рабочей поверхности стола не менее 600 мм,
- высота сиденья 400-500 мм,
- высота от сиденья до рабочей поверхности 200 мм.

Рабочее место должно состоять из стола с размещенным на нем монитором, клавиатурой, подставкой под документы, кресла и подставки для ног. Экран монитора должен находиться от глаз на расстояние не менее 65-70 см. Плоскость экрана должна быть расположена вертикально или с наклоном на пользователя, это позволит избежать напряжения мышц шеи и спины. Угол зрения, при котором обеспечивается оптимальное различие символов на экране, находится в пределах 15-20 градусов.

Для работы очень важно иметь удобное подвижное кресло, в котором регулируется: высота, наклон спинки, расстояние спинки от сиденья. Комната, в которой установлен компьютер, должна быть просторной, с северной, северо-восточной или северо-западной ориентацией окон, что обеспечит достаточное, естественное освещение. Для искусственного освещения лучше применять светильники с люминесцентными лампами.

### **Особенности законодательного регулирования проектных решений.**

Продолжительность с комплексом непрерывной работы без регламентированных перерывов не должна превышать 1 час.

При работе в ночную смену (с 22.00 до 6.00 часов), независимо от категории и вида трудовой деятельности, продолжительность регламентированных перерывов должна увеличиваться на 30%.

В процессе работы необходимо руководствоваться следующими нормативными документами.

ПР 50.2.006-94 Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок проведения поверки средств измерений [16]

ПР 50.2.012-94 Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок аттестации поверителей средств измерений [17]

МИ 187-86 ГСИ. Критерии достоверности и параметры методик поверки [18]

МИ 188-86 ГСИ. Установление значений параметров методик поверки [19]

ГОСТ 12.3.019-92. Система стандартов безопасности труда. Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности

### **Безопасность в чрезвычайных ситуациях.**

В законе Российской Федерации "О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера" чрезвычайная

ситуация определяется как "обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушения условий жизнедеятельности людей".

Наиболее типичной ЧС при проведении проверки является пожар.

**Противопожарные мероприятия** в нашей стране проводятся на основании единых правительственных постановлений, правил и норм. Они являются частью основных мероприятий государства по развитию и охране народного хозяйства.

## 9 Экономическая часть ВКР

### Расчет полной себестоимости

#### Этапы научно исследовательской работы.

В таблице 6 приведен план научно-исследовательской работы.

| №    | Наименование этапов разработки                   | Трудоёмкость<br>в часах | Исполнитель              |
|------|--------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1    | Подготовительный                                 | 7                       |                          |
| 1.1  | Выдача задания и ознакомление с ним              | 2                       | Руководитель.            |
| 1.2  | Подбор и изучение литературы по<br>заданной теме | 2                       | Техник.                  |
| 1.3  | Составление графика работы                       | 1                       | Руководитель.            |
| 1.4  | Проведение литературного обзора                  | 2                       | Руководитель.            |
| 2    | Проектирование                                   | 25                      |                          |
| 2.1  | Анализ технического задания                      | 2                       | Техник,<br>Руководитель. |
| 2.2  | Разработка структурной схемы                     | 3                       | Техник                   |
| 2.3  | Чертёж структурной схемы                         | 1                       | Техник.                  |
| 2.4  | Проверка структурной схемы                       | 1                       | Руководитель.            |
| 2.5  | Разработка функциональной схемы                  | 2                       | Техник                   |
| 2.6  | Чертёж функциональной схемы                      | 1                       | Техник                   |
| 2.7  | Проверка функциональной схемы                    | 1                       | Руководитель             |
| 2.8  | Выбор элементной базы                            | 3                       | Техник<br>Руководитель   |
| 2.9  | Разработка принципиальной схемы                  | 3                       | Техник                   |
| 2.10 | Чертёж принципиальной схемы                      | 1                       | Техник                   |
| 2.1  | Проверка принципиальной схемы                    | 1                       | Руководитель             |

|                                    |                                            |           |                        |
|------------------------------------|--------------------------------------------|-----------|------------------------|
| 3                                  | Разработка и чертеж ПП                     | <b>13</b> |                        |
| 3.1                                | Оформление заказа на плату и комплектующие | 1         | Руководитель           |
| 3.2                                | Получение платы и комплектующих            | 1         | Техник                 |
| 3.3                                | Монтаж схемы на плате                      | 2         | Техник                 |
| 3.4                                | Контрольное включение                      | 2         | Техник<br>Руководитель |
| 3.5                                | Настройка устройства на заданный режим     | 2         | Техник                 |
| 3.6                                | Проверка работоспособности                 | 2         | Техник,                |
| 4                                  | Отчёт о проделанной работе                 | 3         | Техник.                |
| Общее время выполнения разработки: |                                            |           | <b>52</b>              |
| Техник:                            |                                            |           | <b>34</b>              |
| Руководитель:                      |                                            |           | <b>18</b>              |

#### **Расчёт стоимости комплектующих**

При расчёте стоимости комплектующих учитывается их количество по данной схеме и транспортировочные расходы в размере 35% от стоимости комплектующих. Расчёты сводятся в таблицу 7.

| <b>№</b> | <b>Наименование</b> | <b>Марка</b>   | <b>Кол-во<br/>(шт.)</b> | <b>Цена за 1 шт.<br/>(руб.)</b> | <b>Сумма<br/>(руб.)</b> |
|----------|---------------------|----------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 1        | Стекло текстолит    | FR-4-1.5       | 1                       | 60                              | 60                      |
|          | Конденсаторы        |                |                         |                                 |                         |
| 2        | Конденсатор         | 0805x7RмкФ 20% | 24                      | 5                               | 120                     |
| 3        | Конденсатор         | K50-35 20%     | 7                       | 3.5                             | 24.5                    |
| 4        | Конденсатор         | 0805 X7R±20%   | 2                       | 1                               | 2                       |
|          | Резисторы           |                |                         |                                 |                         |
| 5        | Резистор            | CHIP 0805      | 46                      | 2.5                             | 115                     |

|                                      |               |      |    |      |         |
|--------------------------------------|---------------|------|----|------|---------|
| 6                                    | Резистор      | 1206 | 1  | 1    | 1       |
| 7                                    | индикаторы    |      | 3  | 4,5  | 13      |
|                                      | индуктивность |      |    |      |         |
| 8                                    | Катушка       | 1812 | 3  | 7    | 21      |
|                                      | Резонаторы    |      |    |      |         |
| 9                                    | 32,768        |      | 1  | 5    | 5       |
| 10                                   | транзистор    |      | 1  | 2,3  | 2,3     |
|                                      | Диоды         |      |    |      |         |
|                                      | Диод          |      | 9  | 1,23 | 11,07   |
|                                      | Микросхемы    |      |    |      |         |
|                                      | Микросхемы    |      | 26 | 25   | 650     |
| Итого:                               |               |      |    |      | 1081,87 |
| Расход на транспорт:                 |               |      |    |      | 378,65  |
| Итог с учётом транспортных расходов: |               |      |    |      | 1466,52 |

### **Расчёт стоимости материалов**

К этой статье относятся:

1 стоимость материалов, из которых изготавливается данное устройство;

2 стоимость вспомогательных материалов, применяемые в технологических целях.

В расчёте учитываются транспортные расходы в размере 35% от стоимости материалов и сырья.

Для определения нормы расходов материалов, нужно знать площадь печатной платы (дм<sup>2</sup>). Все расчёты сводятся в таблицу 26.

Площадь печатной платы равна 1.3дм<sup>2</sup>.

Таблица 8- Расход материалов.

| №                                   | Наименование материала         | Норма расхода<br>на 1дм <sup>2</sup> (кг) | Цена за 1кг<br>(руб.) | Сумма<br>(руб.) |
|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------|-----------------|
| 1                                   | FT-4-1.5                       | 0,049                                     | 200                   | 24,5            |
| 2                                   | Припой ПОС-61                  | 0,006                                     | 80                    | 0,48            |
| 3                                   | Лак Н.Ц. – 134 ТУ-6-10-1291-72 | 0,002                                     | 90                    | 0,45            |
| 5                                   | Железо хлорное ГОСТ 11159-76   | 0,045                                     | 45                    | 4,02            |
| 6                                   | Флюс АФ- 40                    | 0,03                                      | 80                    | 2.4             |
| 7                                   | Спирт этиловый                 | 0,006                                     | 100                   | 0.6             |
| Итого:                              |                                |                                           |                       | <b>32,45</b>    |
| Транспортно-заготовительный расход: |                                |                                           |                       | <b>11,36</b>    |
| Всего:                              |                                |                                           |                       | <b>43,81</b>    |

**Расчёт стоимости специального оборудования**

К данной статье относится специальное оборудование, применяемое при определении работоспособности и настройки разработанного устройства. Расчёты приведены в таблице 9.

Таблица 9.

| №     | Наименование приборов | Кол-во<br>(шт.) | Время<br>Применения<br>день/год | Цена<br>(руб.) | Сумма<br>(руб.)<br>(S) | Норма<br>амортизации<br>и (Н <sub>а</sub> %) | Норма<br>амортизации<br>и (руб.) | Итог<br>(руб.) |
|-------|-----------------------|-----------------|---------------------------------|----------------|------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------|----------------|
| 1     | Мультиметр            | 1               | 0,021                           | 40             | 40                     | 14                                           | 5,6                              | 45,6           |
| 2     | Паяльник              | 1               | 0,016                           | 20             | 20                     | 14                                           | 2,8                              | 22,8           |
| 3     | Осциллограф           | 1               | 0,038                           | 90             | 90                     | 14                                           | 12,6                             | 102,6          |
| 4     | Источник питания      | 1               | 0,049                           | 25             | 25                     | 14                                           | 3,5                              | 28,5           |
| ИТОГО |                       |                 |                                 |                |                        |                                              |                                  | <b>199,5</b>   |

Сумма(S) = Кол-во\* Цена, где

Кол-во - это число данных приборов.

Цена - это цена за один прибор.

Сумма – это сумма затрат на данные приборы.

$НаД = S * На\% / 100\%$  где

На - норма амортизации(14%).

НаД – денежное выражение нормы амортизации.

Мультиметр: Источник питания:

$$S = 1 * 40 = 40 \quad S = 1 * 25 = 25$$

$$На = 40 * 14 / 100 = 5,6 \quad На = 25 * 14 / 100 = 3,5$$

$$Итого = 40 + 5,6 = 45,6 \quad Итого = 25 + 3,5 = 28,5$$

Паяльник: Осциллограф:

$$S = 1 * 20 = 20 \quad S = 1 * 90 = 90$$

$$На = 20 * 14 / 100 = 2,8 \quad На = 90 * 14 / 100 = 12,6$$

$$Итого = 20 + 2,8 = 22,8 \quad Итого = 90 + 12,6 = 102,6$$

### **Расчёт стоимости электроэнергии**

При проведении экспериментальных работ приборы берут исходя из потребляемой мощности, времени их применения и цены за КВт./час.

Расчёты сведен в таблице 10.

Таблица 10.

| №      | Наименование оборудования | Мощность (Р,КВт.) | Время применения (t,час) | Цена за КВт/час (z,руб.) | Сумма (S,руб.) |
|--------|---------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|----------------|
| 1      | Мультиметр                | 0,003             | 8                        | 2                        | 0,048          |
| 2      | Паяльник                  | 0,0035            | 6                        | 2                        | 0,042          |
| 3      | Осциллограф               | 0,06              | 14                       | 2                        | 1,68           |
| 4      | Источник питания          | 0,004             | 18                       | 2                        | 1,44           |
| Итого: |                           |                   |                          |                          | 3,21           |

$$S = P * t * z, \text{ где}$$

Р - потребляемая мощность приборов.

T – время работы проборов.

C – стоимость электроэнергии за кВт/час.

S – стоимость затраченной приборами электроэнергии.

$$S_{\text{мульт.}} = 0,003 \cdot 8 \cdot 2 = 0,048$$

$$S_{\text{паял.}} = 0,0035 \cdot 6 \cdot 2 = 0,042$$

$$S_{\text{осцил.}} = 0,06 \cdot 14 \cdot 2 = 1,68$$

$$S_{\text{и.п.}} = 0,004 \cdot 18 \cdot 2 = 1,44$$

**Расчёт основной, дополнительной заработной платы и отчислений в социальные статьи**

Месячный оклад руководителя -15000 руб. Час 72.12 руб.

Месячный оклад техника -9600 руб. Час 50 руб.

Расчёты приведены в таблице 11.

Таблица 11.

| №   | Наименование этапов разработки                | Исполнитель              | Трудоёмкость (час) | Зарплата за час (руб.) | Сумма (руб.)  |
|-----|-----------------------------------------------|--------------------------|--------------------|------------------------|---------------|
| 1.  | Подготовительный                              |                          | 7                  |                        |               |
| 1.1 | Выдача задания и ознакомление с ним           | Руководитель.            | 2                  | 72.12                  | 144.24        |
| 1.2 | Подбор и изучение литературы по заданной теме | Техник.                  | 2                  | 50                     | 100           |
| 1.3 | Составление графика работы                    | Руководитель.            | 1                  | 72.12                  | 72.12         |
| 1.4 | Проведение литературного обзора               | Руководитель.            | 2                  | 72.12                  | 144.24        |
| 2.  | Проектирование                                |                          | 25                 |                        |               |
| 2.1 | Анализ технического задания                   | Техник,<br>Руководитель. | 2                  | 50<br>72.12            | 100<br>144.24 |
| 2.2 | Разработка структурной схемы                  | Техник                   | 3                  | 50                     | 150           |
| 2.3 | Чертёж структурной схемы                      | Техник.                  | 1                  | 50                     | 50            |
| 2.4 | Проверка структурной схемы                    | Руководитель.            | 1                  | 72.12                  |               |
| 2.5 | Разработка функциональной схемы               | Техник                   | 3                  | 50                     | 150           |

|      |                                            |                        |           |             |               |
|------|--------------------------------------------|------------------------|-----------|-------------|---------------|
| 2.6  | Чертёж функциональной схемы                | Техник                 | 1         | 50          | 50            |
| 2.7  | Проверка функциональной схемы              | Руководитель           | 1         | 72.12       | 72.12         |
| 2.8  | Выбор элементной базы                      | Техник<br>Руководитель | 2         | 50<br>72.12 | 100<br>144.24 |
| 2.9  | Разработка принципиальной схемы            | Техник                 | 3         | 50          | 150           |
| 2.10 | Чертёж принципиальной схемы                | Техник                 | 1         | 50          | 50            |
| 2.11 | Проверка принципиальной схемы              | Руководитель           | 1         | 72.12       | 72.12         |
| 3.   | Разработка и чертеж ПП                     |                        | <b>13</b> |             |               |
| 3.1  | Оформление заказа на плату и комплектующие | Руководитель           | 1         | 72.12       | 72.12         |
| 3.2  | Получение платы и комплектующих            | Техник                 | 1         | 50          | 50            |
| 3.3  | Монтаж схемы на плате                      | Техник                 | 1         | 50          | 50            |
| 3.4  | Контрольное включение                      | Техник<br>Руководитель | 1         | 50<br>72.12 | 50<br>72.12   |

|               |                                        |         |   |    |                |
|---------------|----------------------------------------|---------|---|----|----------------|
| 3.5           | Настройка устройства на заданный режим | Техник  | 2 | 50 | 100            |
| 3.6           | Проверка работоспособности             | Техник, | 2 | 50 | 100            |
| 4.            | Отчёт о проделанной работе             | Техник. | 3 | 50 | 150            |
| Техник:       |                                        |         |   |    | <b>1400</b>    |
| Руководитель: |                                        |         |   |    | <b>1009.68</b> |
| Итого:        |                                        |         |   |    | <b>2409.22</b> |

Основная зарплата за разработку:

руководителя-1009.22 руб.

Техника-1400 руб.

Общая: 2409.22 руб.

Основная зарплата руководителя и техника с учетом районного коэффициента. Районный коэффициент 30%

$ЗП_{рук} = ЗП_{осн.рук} * 30\% = 1009.22 * 30/100 = 302.77$  руб.

$ЗП_{тех} = ЗП_{осн.тех} * 30\% = 1400 * 30/100 = 420$  руб.

$ЗП_{осн.рук} = ЗП_{рук} + ЗП_{общ.рук} = 1009.22 + 302.77 = 1311.99$  руб.

$ЗП_{осн.тех} = ЗП_{тех} + ЗП_{общ.тех} = 1400 + 420 = 1820$  руб.

$ЗП_{общ} = ЗП_{осн.рук} + ЗП_{осн.тех} = 1311.99 + 1820 = 3131.99$  руб.

Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата составляет 10,5% от основной.

$ЗП_{доп.рук} = ЗП_{осн.рук} * 10,5\% = 1311.99 * 10,5/100 = 137.76$  руб.

$ЗП_{доп.тех} = ЗП_{осн.тех} * 10,5\% = 1820 * 10,5/100 = 191.1$  руб.

Итоговая заработная плата за разработку устройства.

Руководителя-1449,75 руб.

Техника -2011,11 руб.

Состав отчисления в социальные статьи

Отчисления в пенсионный фонд составляет 20 %

Отчисления на медицинское страхование составляет 2,9 %

Отчисления на соц. Страхование составляет 3,1%

Отчисления от несчастного случая 0,6%

Отчисления в соц. Статьи составляет 26,6%

Отчисления руководителя

$1449,75 * 26,6 / 100 = 385,63$  руб.

Отчисления техника

$2011,11 * 26,6 / 100 = 534,96$  руб

Общие отчисления в соц. Статьи составляют 920,59 рублей

### **Сводная калькуляция затрат**

Сводная калькуляция затрат на разработку и производство данного устройства сведено в таблицу 30.

Таблица 12.

| <b>№п/п</b>                | <b>Наименование статей расходов</b>                                 | <b>сумма</b>       |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1                          | Стоимость комплектующих                                             | 1466,85            |
| 2                          | Стоимость материалов                                                | 43,81              |
| 3                          | Стоимость специального оборудования                                 | 199,5              |
| 4                          | Стоимость электроэнергии                                            | 3,21               |
| 5                          | Расчет основной и дополнительной<br>зарплаты руководителя и техника | 1449,75<br>2011,11 |
| 6                          | Социальные отчисления руководителя и<br>техника                     | 920,59             |
| Итого общая себестоимость: |                                                                     | <b>6099,32</b>     |

### **Расчет эксплуатационных затрат**

#### **Расчет основная заработная плата обслуживающего персонала.**

Основная ЗП обслуживающего персонала рассчитывается по формуле:

$З_{Посн.об} = О * Т * Кр$  ,где

ЗПосн.об - Основная ЗП обслуживающего персоналаТ - время обслуживания в год = 60

Кр - районный коэффициент = 1.3

О - оклад за месяц = 9600руб

Из расчета 22 рабочих дней в месяц и 8 часового рабочего дня получаем почасовую оплату обслуживающего персонала

ЗПч.об. =  $9600/22/8 = 54,55$  руб. в час

ЗПосн.об. =  $54,55 * 60 * 1.3 = 4254,9$  руб

### **Расчет дополнительная зарплата обслуживающего персонала**

Дополнительная зарплата составляет 10,5% от основной.

ЗПдоп.=ЗПосн\*10,5%

Техника  $4254,9 * 10,5/100 = 446,76$  руб

Итоговая зарплата эксплуатационщика

$4254,9 + 446,76 = 4701,66$  руб.

### **Расчет отчисления в социальные статьи**

Отчисления в социальные статьи составляет 26,6% от суммы основной и дополнительной зарплаты.

Состав:

1) Пенсионный фонд 20%

2) Социальное страхование 3,1%

3) Медицинское страхование 2,9%

4) Несчастный случай 0,6%

$(ЗПосн + ЗПдоп) * 26,6/100 = ОСС$

$(4254,9 + 446,76) * 26,6/100 = 1250,64$  руб

### **Расчет амортизационных отчислений**

Расчет амортизационных отчислений находится по годовой норме амортизации и составляет 14% от себестоимости разработанного устройства.

$A = C_{полная} * 14\%/100 = 6099,32 * 14/100 = 853,91$ руб.

### Расчет затрат на текущий ремонт

Затраты на текущий ремонт составляет 1,8% от основной зарплаты техника равна 4701,66,6руб

$$З_{тр} = З_{посн} * 1,8\%$$

$$З_{тр} = 4701,66 * 1,8/100 = 84,63 \text{ руб.}$$

### Расчет затрат на электроэнергию

Затраты на потребляемую при эксплуатации электроэнергию рассчитываем по формуле  $Зэ = P * T * Ц$ ,

Где P- мощность(кВт)

T- время эксплуатации устройства 100 ч/год

Ц- цена за 1кВт

$$Зэ = 8,579 * 100 * 2 = 0,0011 \text{ руб.}$$

### Суммарные эксплуатационные затраты

Суммарные эксплуатационные затраты приведены в таблицу 31

Таблица 13.

| №      | Название статьи эксплуатационных затрат            | Сумма<br>(руб.) |
|--------|----------------------------------------------------|-----------------|
| 1      | Основная заработная плата обслуживающего персонала | 4254,9          |
| 2      | Дополнительная заработная плата                    | 446,76          |
| 3      | Отчисление в социальные статьи                     | 1250,64         |
| 4      | Расчёт амортизационных отчислений                  | 853,91          |
| 5      | Затраты на текущий ремонт                          | 84,63           |
| 6      | Затраты на электроэнергию                          | 0,0011          |
| Итого: |                                                    | <b>6845,31</b>  |

Термостат электронный пороговый разработан на основе PIC контроллера, что даёт возможность заменить большое количество микросхем одной т.е. микроконтроллером, который даёт следующие преимущества:

а) Уменьшается количество ЭРЭ, что приводит к уменьшению затрат на комплектующие;

б) Уменьшаются габаритные размеры ПП, что приводит к уменьшению затрат на изготовление ПП;

с) Уменьшается потребление электроэнергии, а это значит, что уменьшаются затраты на электроэнергию.

В ходе проделанных экономических расчетов можно сделать вывод, что система экономически выгодна.

## **Заключение**

В ходе данной выпускной квалификационной работы был произведен аналитический обзор литературных источников и нормативно-технической документации по вопросам проведения поверки и калибровки датчиков давления. В ходе обзора дана характеристика объекту измерения, проанализированы автоматизированные системы поверки и калибровки средств измерения давления.

На основании проведенного анализа были разработаны структурная и принципиальная схемы информационно-измерительного комплекса для поверки датчиков давления. Далее был произведен выбор и расчет элементов принципиальной схемы и разработана печатная плата устройства.

В результате был разработан автоматизированный информационно-измерительный комплекс для поверки датчиков давления ДМ5001 с применением эталонного датчика ДМ5002 с передачей данных для последующего анализа и хранения.

## Список использованных источников

---

- [1] В.В. Курганов Элементы и устройства систем управления: учебное пособие /; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 202 с.
- [2] РМГ 29–99. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Термины и определения. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2000
- [3] Федеральный закон Российской Федерации от 26 июня 2008 г. N 102-ФЗ "Об обеспечении единства измерений" [Электронный ресурс]./ Российская газета Федеральный выпуск №4697 <http://rg.ru/2008/07/02/izmereniya-dok.html> Дата обращения: 03.03.2016 г.
- [4] Яблонский, О.П. Основы стандартизации, метрологии, сертификации / О.П. Яблонский, В.А. Иванова. – Ростов н/Д Феникс, 2004
- [5] ПР 50.2.012-94 Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок аттестации поверителей средств измерений [Электронный ресурс] / Справочник по ГОСТам и стандартам [http://gostbank.metaltorg.ru/data/norms/\\_pr/23.pdf](http://gostbank.metaltorg.ru/data/norms/_pr/23.pdf) Дата обращения: 09.03.2016 г.
- [6] ПР 50.2.006-94 Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок проведения поверки средств измерений [Электронный ресурс]/ ФГУП «ВНИИМС» - Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы». <http://www.vniims.com/download/pr-50.2.006-94.pdf> Дата обращения: 09.03.2016 г.
- [7] МИ 187-86 ГСИ. Критерии достоверности и параметры методик поверки [Электронный ресурс]/ Информационная система МЕГАНОРМ. <http://meganorm.ru/Data2/1/4293770/4293770518.htm> Дата обращения: 09.03.2016 г.
- [8] МИ 188-86 ГСИ. Установление значений параметров методик поверки [Электронный ресурс]/ Информационная система МЕГАНОРМ. <http://meganorm.ru/Data2/1/4293770/4293770518.pdf> Дата обращения: 09.03.2016 г.
- [9] Датчики давления, разряжения и разности давлений с электрическими аналоговыми сигналами ГСП. Общие технические условия. [Электронный ресурс] / ГОСТ 22520-85 Дата обращения: 16.03.2016 г
- [10] Каталог контрольно-измерительных приборов [Электронный ресурс] / Не коммерческий проект, предоставляющий информацию по измерительным приборам. <http://www.devicesearch.ru/article/datchiki-davleniy> Дата обращения: 22.03.2016 г.
- [11] Инновационные решения от ведущих мировых производителей [Электронный ресурс] / ООО "НОВАТЕСТ". [http://www.novatest.ru/equipment/1154/1170/sistema\\_kalibrovki\\_datchikov\\_dinamicheskogo\\_davleniya\\_%280\\_-10\\_ba/](http://www.novatest.ru/equipment/1154/1170/sistema_kalibrovki_datchikov_dinamicheskogo_davleniya_%280_-10_ba/) Дата обращения: 23.03.2016 г.
- [12] Электронный каталог продукции [Электронный ресурс] / ООО НПП «ЭЛЕМЕР» [http://www.elemer.ru/production/metrology/akd\\_12k.php](http://www.elemer.ru/production/metrology/akd_12k.php) Дата обращения: 23.03.2016 г.

- 
- [13] Каталог решений [Электронный ресурс] / Компания ПРОИНТЕК  
<http://www.prointek.ru/issues/test/sistema-kalibrovki-dd/> Дата обращения: 30.03.2016 г.
- [14] Новый автономный поверочный комплекс датчиков давления ЭЛЕМЕР-ПКД-160 / Журнал «ИСУП», № 6(42)\_2012 <http://isup.ru/articles/34/3324/> Дата обращения: 30.03.2016 г.
- [15] Электронный каталог продукции [Электронный ресурс] / ОАО «Манотомь»  
<http://www.manotom-tmz.ru/catalog/item-429.html> Дата обращения: 05.04.2016 г.
- [16] ПР 50.2.006-94 Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок проведения поверки средств измерений [Электронный ресурс]/ ФГУП «ВНИИМС» - Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы». <http://www.vniims.com/download/pr-50.2.006-94.pdf> Дата обращения: 03.04.2016 г.
- [17] ПР 50.2.012-94 Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок аттестации поверителей средств измерений [Электронный ресурс] / Справочник по ГОСТам и стандартам [http://gostbank.metaltorg.ru/data/norms\\_pr/23.pdf](http://gostbank.metaltorg.ru/data/norms_pr/23.pdf) Дата обращения: 03.04.2016 г.
- [18] МИ 187-86 ГСИ. Критерии достоверности и параметры методик поверки поверки [Электронный ресурс]/ Информационная система МЕГАНОРМ  
<http://meganorm.ru/Data2/1/4293770/4293770518.htm> Дата обращения: 18.03.2016 г.
- [19] МИ 188-86 ГСИ. Установление значений параметров методик поверки поверки [Электронный ресурс]/ Информационная система МЕГАНОРМ  
<http://meganorm.ru/Data2/1/4293770/4293770518.pdf> Дата обращения: 03.04.2016 г.

---

## Приложение А

### Обзор методик поверки приборов давления

#### Методика поверки с использованием образцового прибора

## 1 ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ

1.1 Операции, производимые при поверке приборов, должны соответствовать указанным в табл. 1.

Таблица 1

| Операции поверки                                   | Номер пунктов настоящей рекомендации |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Средства поверки                                   | 2.0                                  |
| Операции поверки приборов с контрольной стрелкой   | 2.1                                  |
| Операции поверки приборов с сигнальным устройством | 2.2                                  |
| Операции поверки самопишущих приборов              | 2.3                                  |

## 2 СРЕДСТВА ПОВЕРКИ

А) Для поверки приборов должны применяться следующие измерительные приборы, и устройства:

б) манометры образцовые грузопоршневые по ГОСТ 8291-83;

в) манометры образцовые грузопоршневые с измерительным мультипликатором класса точности 0,2 с верхним пределом измерений до 1500 МПа;

г) мановакуумметры образцовые грузопоршневые класса точности 0,05 с верхним пределом измерений 0,25 МПа;

д) автоматические задатчики давления типа АЗД, АЗДГ, АЗДГМ, АЗДГП;

е) задатчики давления типа Воздух-1,6, Воздух-2,5, Воздух-6,3, Воздух-0,4В, Воздух-250 и Воздух-1600;

ж) манометры и вакуумметры деформационные образцовые;

---

з) газожидкостные разделительные камеры для случая, когда рабочие среды поверяемого и образцового прибора имеют разные фазовые состояния: (газ и жидкость) или (жидкость и газ);

и) жидкостные разделительные камеры на рабочие давления до 60 МПа для приборов специального назначения, имеющих на циферблатах обозначение изменяемой среды ("Кислород" и "Маслоопасно" - для кислорода), поверка которых должна производиться на жидкостях, не реагирующих с измеряемой средой;

к) Образцовые приборы, применяемые при поверке, должны быть поверены или аттестованы в органах метрологической службы.

л) Допускается применять образцовые приборы указанные в п. 2.1., при условии их соответствия требованиям.

## **2.1 Операции поверки приборов с контрольной стрелкой**

А) Определение основной погрешности и вариации должно производиться при отведенной за верхний предел контрольной стрелки прибора.

б) Определение перестановочного, усилия контрольной стрелки должно производиться путем подвода контрольной стрелки к рабочей при постукивании по корпусу прибора при прямом ходе на проверяемых отметках шкалы. Отсчитывание показаний производят по рабочей стрелке.

Значение перестановочного усилия определяется как разность между показаниями при прямом ходе с включенной контрольной стрелкой и отведенной за верхний предел измерений.

в) Для приборов, не имеющих устройства для установки контрольной стрелки, последняя должна устанавливаться в процессе поверки при вскрытом приборе.

г) Перестановочное усилие контрольной стрелки приборов имеющих на шкале цветную отметку, должно определяться только в диапазоне шкалы от цветной отметки до верхнего предела измерений.

д) Контрольная стрелка при движении не должна касаться циферблата и нижней плоскости рабочей стрелки и не должна смещаться от постукивания по корпусу прибора.

е) Значение перестановочного усилия не должно превышать 2g, если иное не оговорено в документации на прибор.

---

ж) По окончании поверки контрольная стрелка должна быть установлена против цветной отметки, а при ее отсутствии отведена к нулевой отметке шкалы.

## **2.2 Операции поверки приборов с сигнальным устройством**

а) Определение погрешности и вариации показаний приборов должно производиться при отведенных за пределы шкалы сигнальных стрелках.

б) Определение погрешности и вариации срабатывания сигнального устройства должно производиться в соответствии с требованиями ГОСТ 2405-88.

в) Основная погрешность и вариация срабатывания сигнального устройства не должны превышать норм, установленных в технической документации на прибор.

## **2.3 Операции поверки самопишущих приборов**

а) Самопишущие приборы, предъявляемые на поверку, должны сопровождаться диаграммными лентами и дисками для обеспечения возможности поверки. Для таких приборов вместо терминов «показания», «стрелка», «шкала», «отметка» приняты термины «запись», «перо», «диаграммные ленты и диски», «отсчетная линия диаграммных лент и дисков».

б) Диаграммное устройство должно удовлетворять требованиям ГОСТ 2405-88.

в) Определение погрешности записи и вариации должно производиться при отключенном приводе в соответствии с требованиями п. 2.3. При небольшом повороте привода вручную на диаграммную ленту или диск наносят отметки.

г) Приборы, имеющие шкалу, поверяются одновременно по шкале.

д) Приборы, имеющие сигнальное устройство должны поверяться в соответствии с требованиями п. 2.6.

е) Погрешность хода диаграммных лент и дисков определяется следующим образом:

- погрешность хода диаграммных лент и дисков с приводом от часового механизма определяют по хронометру;

- погрешность хода диаграммных лент и дисков с приводом от синхронного микродвигателя – по хронометру с введением поправки на отклонение частоты питающей сети от номинальной частоты 50 Гц.

Пускают в ход привод. В момент, когда перо будет находиться на линии времени, наносят пером отметку на ленте или диске и одновременно проводят отсчетывание показаний хронометра. В тот момент, когда перо будет

---

находиться на линии времени отстоящей от отмеченной на промежутке времени  $\tau$  наносят пером вторую отметку и проводят второе отсчитывание показаний хронометра.

На дисках отметки наносят на отсчётной линии верхнего предела измерений.

Промежуток времени  $\tau$  N в часах принимают, равным:

- при допускаемой погрешности хода лент и дисков 3 мин за 24 часа:  $\tau=8\Delta\tau$  (6)

- при допускаемой погрешности хода лент и дисков 5 мин за 24 ч:  $\tau=4.8\Delta\tau$  (7)

где  $\Delta\tau$  промежуток времени, равный 0,2 цены деления времени ленты или диска, в минутах.

Погрешность хода за 24 ч для приборов с приводом от часового механизма определяют по формуле:

$$\Delta D = 1440 \times ((TD - T)/T) \quad (8)$$

где TD и T - промежуток времени по ленте (диску) и хронометру соответственно, мин.

Погрешность хода за 24 ч для приборов с приводом от синхронного микродвигателя определяют по формуле:

$$\Delta D = 1440/T \times (TD \times \Phi/50 - T) \quad (9)$$

где  $\Phi$  - среднее значение частоты тока и сети за время  $\tau$ , Гц.

Значение  $\Phi$  рассчитывают по 24 показаниям частотомера, снимаемым каждый час, при этом напряжение питания не должно отклоняться от номинального, более чем на 10%.

ж) Поверка самопишущего устройства производят следующим образом: при отключенном приводе в приборе создают давление. При повышении давления до верхнего предела измерения и последующем снижении давления до нуля линии записи на неподвижных лентах и дисках должны совпадать с отсчетными линиями времени с отклонениями, не превышающими допусков по ГОСТ 2405-88.

з) Движение пера должно быть плавным, линия записи должна быть непрерывной и иметь толщину, не более 0,6 мм. При движении и остановке пера или лент и дисков не должно образовываться наплыва чернил.

---

## **Методика поверки с использованием образцового сигнала**

Настоящая рекомендация разработана промышленной группой "МЕТРАН" и Всероссийским научно-исследовательским институтом метрологической службы (ВНИИМС) Госстандарта России.

2. Утверждена ВНИИМС 03.12.2001.

Настоящая рекомендация распространяется на датчики (измерительные преобразователи) давления типа "Метран", выпускаемые в соответствии с ГОСТ 22520-85 и по технической документации промышленной группы "МЕТРАН".

Датчики предназначены для непрерывного преобразования значений измеряемых величин давления абсолютного, давления избыточного, разрежения, давления-разрежения, разности давлений и других физических величин, определяемых по давлению или по разности давлений (например, уровень и плотность жидкости, расход жидкости, газа или пара), в выходной аналоговый сигнал постоянного тока 4 - 20, или 0 - 20, или 0 - 5 мА, или/и в выходной цифровой сигнал в стандарте протоколов HART, или Foundation Fieldbus, или Profibus PA, или RS 232/485 или других коммуникационных цифровых протоколов.

Рекомендация устанавливает методику первичной и периодической поверок датчиков (измерительных преобразователей) давления типа "Метран" с пределами допускаемой основной погрешности от  $\pm 0,05$  до  $\pm 1\%$ .

### **1. ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ**

1.1. При проведении поверки выполняют следующие операции:

- внешний осмотр;
- опробование;
- определение основной погрешности датчика;
- определение вариации выходного сигнала датчика.

### **2. СРЕДСТВА ПОВЕРКИ**

При проведении поверки применяют средства, указанные в таблице 1.

Таблица 1

| Наименование средства поверки                                                                | Основные метрологические и технические характеристики средств поверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Манометр абсолютного давления МПА-15                                                         | Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности: $\pm 6,65$ Па в диапазоне 0 – 20 кПа; $\pm 13,3$ Па в диапазоне 20 – 133 кПа; пределы допускаемой основной погрешности $\pm 0,01\%$ от действительного значения измеряемого давления в диапазоне 133 – 400 кПа                                                                                                                                                            |
| Микроманометр МКМ-4                                                                          | Класс точности 0,01. Диапазон измерений 0,1 – 4,0 кПа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Микроманометр МКВ-250                                                                        | Пределы измерений 0 – 2,5 кПа; класс точности 0,01 и 0,02                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Портативный калибратор давления (избыточного, вакуумметрического и разности давлений) ПКД-10 | Пределы измерений 0,01 – 100 кПа. Пределы допускаемой основной погрешности $\pm 0,05\%$ от измеряемого давления                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Задатчик давления "Воздух-1600"                                                              | Пределы воспроизведения избыточного давления от 20 Па до 16 кПа. Пределы допускаемой основной погрешности в диапазоне от 20 до 500 Па – $\pm 0,1$ Па; свыше 500 Па и до 16 кПа – $\pm 0,02\%$ от задаваемого давления. В комплекте с блоком опорного давления (200, 300 Па и более) пределы воспроизведения разности давлений от 5 Па до 5 кПа; пределы допускаемой основной погрешности в диапазоне до 500 Па – $\pm 0,14$ Па |
| Задатчик давления "Воздух-1,6"                                                               | Пределы воспроизведения избыточного давления от 1 до 160 кПа. Пределы допускаемой основной погрешности – $\pm 0,02\%$ , $\pm 0,05\%$ от задаваемого давления                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Задатчик давления "Воздух-2,5"                                                               | Пределы воспроизведения избыточного давления от 2,5 до 250 кПа. Пределы допускаемой основной погрешности: $\pm 0,02\%$ , $\pm 0,05\%$ от задаваемого давления                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Задатчик давления "Воздух-6,3"                                                               | Пределы воспроизведения избыточного давления от 10 до 630 кПа. Пределы допускаемой основной погрешности: $\pm 0,02\%$ , $\pm 0,05\%$                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Задатчик вакуумметрического давления "Воздух-0,4В"                                           | Пределы воспроизведения разрежения от минус 0,8 до минус 40 кПа. Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности $\pm 0,08$ Па в диапазоне измерений 0,8 – 4,0 кПа. Пределы допускаемой основной погрешности в диапазоне измерений 4 – 40 кПа: $\pm 0,02\%$ , $\pm 0,05\%$ от задаваемого давления                                                                                                                         |
| Манометр грузопоршневой МП-2,5 I и II разрядов; ГОСТ 8291-83                                 | Пределы допускаемой основной погрешности: $\pm 0,02\%$ , $\pm 0,05\%$ от измеряемого давления в диапазоне измерений от 25 кПа до 0,25 МПа                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Манометр грузопоршневой                                                                      | Пределы допускаемой основной погрешности:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

|                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| МП-6 I и II разрядов;<br>ГОСТ 8291-83                              | +/- 0,02%, +/- 0,05% от измеряемого давления в диапазоне измерений от 0,04 до 0,6 МПа                                                                                                                                                                                                                 |
| Манометр грузопоршневой<br>МП-60 I и II разрядов;<br>ГОСТ 8291-83  | Пределы допускаемой основной погрешности:<br>+/- 0,02%, +/- 0,05% от измеряемого давления в диапазоне измерений от 0,1 до 6 МПа                                                                                                                                                                       |
| Манометр грузопоршневой<br>МП-600 I и II разрядов;<br>ГОСТ 8291-83 | Пределы допускаемой основной погрешности:<br>+/- 0,02%, +/- 0,05% от измеряемого давления в диапазоне измерений от 1 до 60 МПа                                                                                                                                                                        |
| Манометр грузопоршневой<br>МП-2500 II разряда;<br>ГОСТ 8291-83     | Пределы допускаемой основной погрешности<br>+/- 0,05% от измеряемого давления в диапазоне измерений от 25 до 250 МПа                                                                                                                                                                                  |
| Манометр грузопоршневой<br>МВП-2,5; ГОСТ 8291-83                   | Пределы измерений избыточного давления 0 - 0,25 МПа; вакуумметрического давления (разрежения) 0 - 0,1 МПа. Пределы допускаемой основной погрешности: +/- 5 Па при давлении (избыточном или вакуумметрическом) в пределах 0 - 0,01 МПа и +/- 0,05% от измеряемого значения при давлении свыше 0,01 МПа |
| Задатчик<br>вакуумметрического<br>давления "Метран-503"            | Пределы воспроизведения разрежения от минус 0,6 до минус 60 кПа. Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности +/- 0,6 Па в диапазоне измерений 0,6 - 4 кПа. Пределы допускаемой основной погрешности в диапазоне измерений 4 - 60 кПа +/- 0,02% от задаваемого давления                        |
| Барометр М67                                                       | Пределы измерений 610 - 900 мм рт. ст.;<br>погрешность измерений +/- 0,8 мм рт. ст.                                                                                                                                                                                                                   |
| Вакуумметр<br>теплоэлектрический ВТБ-1                             | Пределы измерений 0,002 - 750 мм рт. ст.                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Манометр для точных<br>измерений МТИ                               | Пределы измерений от 0,25 до 160 МПа. Класс точности 0,6                                                                                                                                                                                                                                              |
| Вакуумметр для точных<br>измерений ВТИ                             | Пределы измерений 0 - 0,1 МПа. Класс точности 1                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Термометр ртутный<br>стеклянный лабораторный                       | Пределы измерений 0 - 55 °С. Цена деления шкалы 0,1 °С. Пределы допускаемой погрешности +/- 0,2 °С                                                                                                                                                                                                    |
| Образцовая катушка<br>сопротивления Р331                           | Класс точности 0,01. Сопротивление 100 Ом                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Мера электрического<br>сопротивления<br>однозначная МС 3006        | Класс точности 0,001. Сопротивление от 1 Ом до 100 кОм                                                                                                                                                                                                                                                |
| Магазин сопротивлений<br>Р 33, ГОСТ 23737-79                       | Класс точности 0,2. Сопротивление до 99999,9 Ом                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Магазин сопротивлений<br>Р4831                                     | -6<br>Класс точности 0,02/2 x 10 <sup>-6</sup> . Сопротивление до 111111,1 Ом                                                                                                                                                                                                                         |
| Вольтметр универсальный<br>В7-54/3. ГОСТ Р 51350-99                | Верхний предел измерений напряжения постоянного тока 200 В. Предел допускаемой основной погреш-                                                                                                                                                                                                       |

|                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                        | ности измерения напряжения постоянного тока $\pm 0,0015\%$ от $U + 2$ единицы младшего разряда, где $U$ – значение измеряемого напряжения. Цена единицы младшего разряда 100 мкВ при измерении напряжения постоянного тока в пределах 2 В |
| Компаратор напряжения постоянного тока Р 3003 М1                                                       | Класс точности 0,001. Верхний предел измерений 2,121111 В                                                                                                                                                                                 |
| Источник постоянного тока Б5-8 или Б5-45                                                               | Наибольшее значение напряжения на выходе 50 В. Допускаемое отклонение $\pm 0,5\%$ от установленного значения напряжения                                                                                                                   |
| Модем HART/RS 232                                                                                      | Преобразователь сигналов HART в сигналы интерфейса RS 232 для связи датчика с персональным компьютером через его стандартный последовательный порт                                                                                        |
| Портативный HART-коммуникатор "Метран-650" или HC-275 фирмы Rosemount                                  | Устройство для связи с датчиком по цифровому каналу и для обмена данными по HART-протоколу                                                                                                                                                |
| Персональный компьютер                                                                                 | IBM PC с MS DOS 6.22                                                                                                                                                                                                                      |
| Модем на базе стандартного интерфейса RS 485                                                           | Устройство для связи с датчиком по цифровому протоколу на базе RS 485                                                                                                                                                                     |
| Модем и (или) портативный коммуникатор на базе цифровых протоколов Foundation Fieldbus или Profibus PA | Устройство для связи с датчиком с цифровым выходным сигналом в стандартах указанных протоколов                                                                                                                                            |

|               |              |              |              |  |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--|
| Перв. примен. |              |              |              |  |
| Справ. №      |              |              |              |  |
| Инв. № подл.  | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |  |
| Инв. № подл.  | Подп. и дата |              |              |  |

ФЮРА.01101.001.В0

питание

bx1

bx2

bx3

30

A-A

90

100

A

A

|          |      |               |       |      |                                                                                              |      |        |         |
|----------|------|---------------|-------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|---------|
|          |      |               |       |      | ФЮРА.01101.001.В0                                                                            |      |        |         |
| Изм.     | Лист | № докум.      | Подп. | Дата | Информационно-измерительный комплекс<br>для поверки датчиков давления.<br>Чертеж общего вида | Лит. | Масса  | Масштаб |
| Разраб.  |      | Никитина З.Ш. |       |      |                                                                                              |      |        | 1:1     |
| Пров.    |      | Степанов А.Б. |       |      |                                                                                              |      |        |         |
| Т.контр. |      |               |       |      |                                                                                              | Лист | Листов | 1       |
| Н.контр. |      |               |       |      | ТПУ ИнЭО                                                                                     |      |        |         |
| Утв.     |      |               |       |      | зр.14.01                                                                                     |      |        |         |

Копировал

Формат А3

|              |  |                                                                                          |  |
|--------------|--|------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Справ. №     |  | Перв. примен.                                                                            |  |
| Инв. № подл. |  | Подп. и дата                                                                             |  |
| Взам. инв. № |  | Инв. № дубл.                                                                             |  |
| Подп. и дата |  | Информационно-измерительный комплекс<br>для поверки датчиков давления.<br>Панель доковая |  |
| Инв. № подл. |  | ABS пластик UL 94-НВ                                                                     |  |
| Изм. Лист    |  | № докум.                                                                                 |  |
| Разраб.      |  | Никитина З.Ш.                                                                            |  |
| Пров.        |  | Степанов А.Б.                                                                            |  |
| Т.контр.     |  |                                                                                          |  |
| Н.контр.     |  |                                                                                          |  |
| Утв.         |  |                                                                                          |  |
| Лист         |  | Листов                                                                                   |  |
|              |  | 1                                                                                        |  |
| Масса        |  | Масштаб                                                                                  |  |
|              |  | 2:1                                                                                      |  |
| ТПУ ИнЭО     |  | г.р. 1401                                                                                |  |
| Формат       |  | А4                                                                                       |  |

ФЮРА.01101.003

100

30

10

10

50

30

10

10

10

3 отв  $\phi 8$

$\phi 12$

вх1

вх2

вх3

2

Формат А4