

ФГБОУ ВО НОВОСИБИРСКИЙ ГАУ
Инженерный институт

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Методические указания по выполнению контрольной и самостоятельной
работы



НОВОСИБИРСК 2021

УДК 621.3
ББК 31.294.9

Кафедра техносферной безопасности и электротехнологий

Составители: Самохвалов М.В., ст. преподаватель Морокин Д.В., ст. преподаватель

Рецензент: Калюжный А.Т., к.т.н., доцент

Электрические измерения: методические указания по выполнению контрольной работы и самостоятельной работы / Новосиб. гос. аграр. ун-т, Инженер. ин-т; 3-е издание сост. М.В. Самохвалов. – Новосибирск, 2021. – 59 с.

Содержат варианты, пример выполнения и требование к контрольной работе, а также вопросы по самоподготовки к основным темам изучаемой дисциплины. Освещены вопросы, связанные с защитой контрольной работы, а также ее оценкой.

Предназначены для студентов, очной и заочной формы обучения, по направлению подготовки: 35.03.06 – «Агроинженерия», (профиль: Электрооборудование и электротехнологии)

Утверждены и рекомендованы к изданию учебно-методическим советом Инженерного института (протокол №_ от _ декабря 2021 г.).

© Новосибирский государственный аграрный университет, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. СТРУКТУРА ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ.....	5
2. ТРЕБОВАНИЯ К ЗАДАНИЮ И ИЗЛОЖЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ	6
3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ТЕКСТОВОГО, ИЛЛЮСТРИРОВАННОГО И ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА.....	123
3.1 Оформление текстового материала.....	12
3.2 Нумерация разделов и подразделов	134
3.3 Шифр основной надписи графической части.....	135
3.4 Требования к выполнению структурных, функциональных и принципиальных электрических схем	15
4. ПОРЯДОК И СРОКИ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ	178
5 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ.....	19
Список рекомендованной литературы.....	22
Библиографический список	22
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	24
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 Темы контрольных работ.....	55

ВВЕДЕНИЕ

Контрольная работа (Кр) является заключительным этапом в изучении студентами дисциплины «Электрические измерения» и имеет своей целью:

- систематизацию, закрепление и расширение теоретических и практических знаний по дисциплине и применение этих знаний при решении конкретных технических, научных, экономических и производственных задач;

- развитие навыков выполнения самостоятельной работы, овладение методами исследования и экспериментирования при решении вопросов научно-исследовательского характера;

- применение знаний в области метрологии для повышения качества измерений, правильного выбора и использования средств измерений, направленных на решение технических проблем, связанных с обеспечением качества продукции и услуг, стандартизации и сертификации производства на основе использования стандартов и норм, контроля за их соблюдением.

Задачей данной Кр является привитие практических навыков, связанных с применением методов обработки и представления результатов измерений, правил выбора средств измерений для решения конкретных измерительных задач; рациональным выбором современных средств измерений физических величин при организации и проведении измерительного эксперимента, современных методов исследования метрологических характеристик средств измерений; использованием современных математических методов, применяемых в задачах обработки результатов наблюдений, методов оценивания характеристик электронных средств измерений, справочного аппарата для выбора средств измерений, методов организации измерительного эксперимента; выбором средств измерений для решения конкретных измерительных задач; выполнением метрологических расчетов при обработке результатов наблюдений измерительного эксперимента; представлением результатов измерений; оформлением электрических схем, чертежей и составлением спецификаций, расчетом несложных функциональных узлов и выбором элемента для их практической реализации; использованием прикладных программ для обработки результатов измерений; анализом конкретных ситуаций и решением задач в области метрологической деятельности, стандартизации и сертификации.

Кр является подготовительной ступенью к решению студентами более сложной квалификационной задачи – выполнению выпускной квалификационной работы.

1 СТРУКТУРА ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Пояснительная записка к Кр должна включать следующие основные структурные элементы: титульный лист; задание; содержание; введение; основную часть; выводы, заключение; список использованных источников; приложения.

Введение должно отражать сущность и значимость темы, цель курсовой работы.

Основная часть пояснительной записки должна содержать следующие разделы:

1. Аналитический обзор существующих принципов, методов и средств измерений заданной физической величины.
2. Обоснование выбора принципа, метода и средства измерения заданной физической величины.
3. Технические характеристики средств измерения.
4. Описание принципа действия средств измерения.
5. Технические расчеты.
6. Метрологическое обеспечение средств измерения.
7. Графическая часть.

Допускается изменение расположения отдельных разделов пояснительной записки и их объединение.

Основная часть должна составлять не менее 80% от полного объема пояснительной записки.

Объем текстовой документации должен составлять 20 - 25 страниц машинописного текста.

Графическая часть выполняется на отдельном листе формата А4.

2 ТРЕБОВАНИЯ К ЗАДАНИЮ И ИЗЛОЖЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Тему Кр студент выбирает согласно приложению 2. Затем исходя из темы самостоятельно, либо с помощью преподавателя формирует задание.

Задание устанавливает тему Кр и исходные требования к средству измерения, которое должно быть выбрано в результате аналитического обзора (пример задания приведен в приложении).

Название темы Кр содержит:

- физическую величину, зачастую неэлектрическую, которую необходимо измерить (температура, масса, влажность и т.п.);
- объект измерения (воздух, различные жидкости, почва, плоды, детали и т.п.);
- технологический процесс (выплавка чугуна, расфасовка и т.п.)

Например: «Определение температуры молока при пастеризации».

В задании на Кр устанавливаются следующие требования к средству измерения:

- 1) диапазон измерения – область значений измеряемой величины;
- 2) время измерения – интервал времени, необходимый для единичного измерения;
- 3) погрешность измерения – задается доверительным интервалом в единицах физической величины, либо в процентах;
- 4) результаты измерения должны выдаваться в виде:
 - показаний на шкальный прибор;
 - показаний на цифровой прибор;
 - двоичного кода;
 - показаний на экране ПК.
- 5) климатические условия работы средства измерения:
 - относительная влажность воздуха;
 - атмосферное давление;
 - температура воздуха;
- 6) особенности режимов работы средства измерения:
 - вибрация;
 - условия работы оператора;
 - магнитные поля;
 - агрессивная среда;
- 7) дополнительно:

- невысокая стоимость;
- стабильность показаний.

Во **«Введении»** излагается состояние вопроса, которому посвящена Кр, обосновывается необходимость ее разработки. Проводится краткий анализ объекта измерений, условий выполнения измерений и эксплуатации средств измерений. Введение должно заканчиваться четко сформулированной целью работы. Основной целью работы является выбор средства измерений, которое удовлетворяет всем критериям задания на Кр и является самым недорогим.

В разделе **«Аналитический обзор существующих принципов, методов и средств измерений заданной физической величины»** с использованием различных источников проводится обзор и сравнительный анализ современных принципов, методов и средств измерений заданной физической величины.

Принципом измерений называют физическое явление или совокупность физических явлений, положенных в основу измерений. Например, измерение массы тела при помощи взвешивания с использованием силы тяжести, пропорциональной массе, измерение температуры с использованием термоэлектрического эффекта.

Методом измерений называют совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

Средство измерений техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.

В этом разделе должны быть отражены следующие вопросы:

- единицы и эталоны измеряемой величины и ее параметров;
- обзор принципов измерений с указанием их преимуществ и недостатков исходя из задания на Кр;
- краткое описание существующих методов измерений с указанием их преимуществ и недостатков исходя из задания на Кр;
- краткое описание существующих средств измерений, обусловленных конструкцией этих средств.

Поскольку в основном необходимо измерять неэлектрические величины, в качестве средств измерений в данной главе необходимо рассматривать измерительные преобразователи (датчики). Выбор измерительных приборов, АЦП, индикаторных устройств, производится в последующих главах.

Описанные в литературе принципы измерения заданной физической величины должны быть проанализированы с учетом конкретных условий задания. Необходимо указать метрологические и эксплуатационные характеристики используемых при этом средств измерений. В заключение делается акцент на методы, которые подходят для решений поставленной задачи. Например, при задании дистанционного измерения температуры выше 500 °С наиболее подходящими методами являются термоэлектрический и пирометрический.

Обзор следует проводить по средствам, в основу работы которых положены выбранные методы. Критериями достоинства и недостатков таких средств являются технические показатели, например, пределы измерения, точность, производительность, погрешность и т.д. Применительно к вышерассмотренному заданию измерения температуры такими приборами являются пирометры, милливольтметры, логометры, автоматические электронные потенциометры и мосты. Приведенные в разделе описания, по возможности, должны иметь необходимые расчеты, иллюстрироваться рисунками, схемами, графиками, которые поясняют методы измерений и работу измерительных средств.

Данные желательно представить в виде сводной таблицы.

В разделе *«Обоснование выбора принципа, метода и средства измерения заданной физической величины»* аргументируется выбор метода и средства измерения. Выбранное средство должно по своим техническим характеристикам в полной мере отвечать одному из аналогов, рассмотренных в аналитическом обзоре.

При выборе средств измерений учитывают совокупность метрологических (цена деления, погрешность, пределы измерений и т.п.), эксплуатационных и экономических показателей, к которым относятся: массовость и доступность их для контроля; стоимость и надежность средств измерений; метод измерения; время, затрачиваемое на настройку и процесс измерения; масса, габаритные размеры, рабочая нагрузка; режим работы и т.д. При этом могут быть рекомендованы следующие общие принципы выбора средств измерений:

1) относительная погрешность средств измерений должна быть на 25-30% ниже заданной или расчетной погрешности измерения;

2) выбор средств измерений зависит от масштаба производства, количества находящихся в эксплуатации однотипных технических средств. Например, в массовом производстве с отработанным технологическим процессом используют высокопроизводительные автоматизированные средства измерения контроля. Универсальные средства измерения применяются преимущественно для наладки оборудования;

3) метод измерения выбирают исходя из целей контроля и условий эксплуатации оборудования;

4) при выборе средств измерений по метрологическим характеристикам учитывают следующие факторы:

- если технологический процесс неустойчивый, то нужно, чтобы рабочий диапазон средств измерений превышал пределы возможных изменений измеряемого параметра;

- цена деления шкалы прибора должна выбираться с учетом заданной точности измерений;

- относительная погрешность в пределах рабочего участка шкалы средства измерений не должна превышать приведенную погрешность более чем в три раза;

- первичные преобразователи должны потреблять минимум энергии от объекта измерения и их подключение не должно нарушать его нормальной работы.

В разделе **«Технические характеристики средств измерения»** приводятся основные технические данные выбранного измерительного средства, например, цена деления, предел измерения, погрешность, время измерения, мощность, габариты и масса. В этом разделе могут быть также приведены характеристики, отражающие условия работы. Данные следует представить в виде таблицы.

В разделе **«Описание принципа действия средств измерения»** приводится описание состава измерительного средства, устройство и взаимодействие его основных частей.

Описание рекомендуется проводить в такой последовательности:

- основные функциональные, конструктивные и вспомогательные элементы устройства (его состав);

- связи между отдельными элементами;

- работа средства измерения.

В этом же разделе должны быть описаны приемы работы оператора при настройке и эксплуатации измерительного средства.

В **«Графической части»** выполняются принципиальная, структурная и/или функциональная схемы, которые составляются согласно ГОСТ 2.701-84 ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.

Основные элементы структурной схемы измерений определяются на основе составленного укрупненного алгоритма работы средства измерений.

Раздел **«Технические расчеты»** включает выполнение расчетов, необходимость которых выявлена в процессе работы над Кр, и предусмотренных зада-

нием. Объем и содержание этой части определяются темой Кр и индивидуальным заданием преподавателя. В зависимости от темы Кр такими расчетами могут быть:

- расчеты на точность измерений;
- расчеты различных погрешностей;
- расчеты кинематические, динамические;
- расчеты чувствительности, вариации.

Раздел *«Метрологическое обеспечение средств измерения»* содержит:

- определение места выбранного измерительного средства в поверочной схеме;
- выбор метода поверки измерительного средства;
- описание образцового средства измерения;
- установлениеверяемых характеристик и краткое описание их определения.

Под *метрологическим обеспечением* (МО) понимается установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.

При разработке МО необходимо использовать системный подход, суть которого состоит в обеспечении единства и качества измерений как совокупности взаимосвязанных процессов.

В работе должны быть отражены следующие вопросы:

- нормативно-правовые основы МО;
- обеспечение государственного метрологического надзора и контроля за соблюдением метрологических норм и правил;
- испытание и утверждение средств измерений;
- поверка средств измерений;
- калибровка средств измерений;
- метрологическая аттестация средств измерений;
- методики выполнения измерений;
- метрологическая экспертиза документации и оборудования.

По теме «Стандартизация» необходимо рассмотреть следующие вопросы:

- установление и применение правил, направленных на упорядочение деятельности в области измерений;
- задачи, стоящие перед государственной системой стандартизации, и принципы ее организации в РФ;
- работы, выполняемые при стандартизации;
- унификация, типизация и агрегатирование средств измерений;

- кодирование и классификация средств измерений;

По теме «Сертификация»:

- основные положения и порядок проведения работ в области сертификации средств измерений;

- характеристика и область применения видов сертификации;
- обзор основных этапов процесса сертификации.

Цель **«Заключения»** – оценка полученных результатов Кр. В этом разделе необходимо отразить:

- насколько выполненная работа соответствует требованиям задания;
- роль проведенных экспериментальных исследований в процессе выполнения работы;
- какие задачи расчета, анализа, моделирования решались на ПК и какие получены результаты;
- рекомендации по возможному практическому применению работы;
- основные направления дальнейшего развития рассматриваемых в Кр вопросов и задач.

В **«Список использованных источников»** включаются все используемые источники в порядке появления на них ссылок в тексте, а также источники, которыми пользовался студент при выполнении Кр.

Список содержит:

- номер источника, на который имеется ссылка в тексте;
- полное наименование источника.

В состав «Приложений» может включаться дополнительный материал, выявленный в результате работы над Кр. Объем приложений не ограничивается и не учитывается в общем объеме Кр.

В приложения рекомендуется включать материалы, связанные с выполнением Кр, но являющиеся вспомогательными либо слишком громоздкими для основной части пояснительной записки. В приложения могут быть включены:

- материалы, дополняющие пояснительную записку;
- таблицы вспомогательных цифровых данных;
- иллюстрации вспомогательного характера и др.;
- описания датчиков и приборов.

3 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ТЕКСТОВОГО, ИЛЛЮСТРИРОВАННОГО И ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Пояснительная записка выполняется на листах формата А4.

Примеры титульного листа Кр и задания Кр приведены в прил. 1

Графическая часть Кр выполняется на одном листе формата А4.

При выполнении схем следует придерживаться условных обозначений по ГОСТ 2.701-84 (2-Х-91) ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению, ГОСТ 2.702-75 (3-Х-91) ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.

При оценке учебного текстового документа учитываются не только правильность, полнота, грамотность, аккуратность, но и качество его оформления.

Текстовые и графические документы оформляются согласно действующим единым системам стандартов: ЕСКД (единая система конструкторской документации), ЕСТД (единая система технологической документации), ЕСТПП (единая система технологической подготовки производства), ССБТ (система стандартов безопасности труда) и др.

Настоящие рекомендации составлены с учетом материалов стандартов, представленных в прил. 2.

3.1 Оформление текстового материала

Работа должна быть отпечатана на компьютере или четко написана от руки темными чернилами (пастой).

Текст работы и расчеты выполняются на одной стороне листа белой одно-сортной бумаги формата А4 по ГОСТ 2.301-68 (210×297).

Рекомендуется при наборе на компьютере соблюдать следующие требования:

Поля: верхнее – 15 мм, нижнее – 25, левое – 30, правое – 10.

Шрифт – Times New Roman Cyr, размер – 14 пт., начертание – обычное.

Абзац: выравнивание – по ширине; первая строка – отступ 1,25 см; интервал: перед – 0 пт., после – 0 пт., междустрочный – одинарный. Не рекомендуется делать абзацный отступ пробелами и табуляцией.

Порядок следования листов при брошюровании:

- первый лист – титульный. Включается в нумерацию страниц как первая страница, номер не указывается;

- второй лист – задание на Кр. Включается в нумерацию как вторая страница, номер не указывается;

- третий лист – первая страница элемента «Содержание». Указывается номер страницы (третья). В содержание включаются заголовки всех последующих структурных элементов выполненной работы, начиная с «Введения».

3.2 Нумерация разделов и подразделов

При необходимости текст пояснительной записки разделяют на разделы, подразделы, пункты и подпункты.

Разделы и подразделы должны иметь заголовки. Пункты, как правило, заголовков не имеют.

Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов. Заголовки разделов следует печатать прописными буквами без точки в конце, не подчеркивая. Переносы слов в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Каждый раздел пояснительной записки рекомендуется начинать с нового листа (страницы). Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всей пояснительной записки, обозначенные арабскими цифрами и записанные с абзачного отступа. Заголовки таких структурных элементов работы как СОДЕРЖАНИЕ, ВВЕДЕНИЕ, ЗАКЛЮЧЕНИЕ, СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ, ПРИЛОЖЕНИЯ набираются на отдельной строке прописными буквами по центру и не нумеруются.

Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. Разделы, как и подразделы, могут состоять из одного или нескольких пунктов.

Номер пункта должен состоять из номеров раздела, подраздела и пункта, разделенных точками.

Пункты при необходимости могут быть разбиты на подпункты, которые должны иметь порядковую нумерацию в пределах каждого пункта, например: 4.2.1.1, 4.2.1.2 и т.д. Внутри подпунктов могут быть приведены перечисления.

Расстояние между заголовком и текстом при выполнении документа машинописным способом должно быть 5 или 4 интервала, при выполнении рукописным способом – 15 мм. Расстояние между заголовками раздела и подраздела – 2 интервала, при выполнении рукописным способом – 8 мм.

3.3 Шифр основной надписи графической части

Согласно СТП 01-04 НГАУ, обозначение документа (шифр) задается следующим образом:

ЭИ Кр 99. 00 00 00. Э1,

где МСС – условное обозначение названия дисциплины;

Кр – контрольная работа;

99 – вариант (определяется по номеру зачетной книжки студента);

Э1 – условное обозначение вида и типа схемы, которая изображена на листе.

Код схемы должен состоять из буквенной части, определяющей вид схемы, и цифровой части, определяющей тип схемы.

Виды схем обозначают буквами:

электрические	Э
гидравлические	Г
пневматические	П
газовые (кроме пневматических)	Х
кинематические	К
вакуумные	В
оптические	Л
энергетические	Р
деления	Е
комбинированные	С

Типы схем обозначают цифрами:

структурные	1
функциональные	2
принципиальные (полные)	3
соединений (монтажные)	4
подключения	5
общие	6
расположения	7
объединенные	0

Например, схема электрическая принципиальная – Э3; схема гидравлическая соединений – Г4; схема деления структурная – Е1; схема электрогидравлическая принципиальная – С3; схема электрогидропневмокинематическая принципиальная – С3; схема электрическая соединений и подключения – Э0; схема гидравлическая структурная, принципиальная и соединений – ГО.

3.4 Требования к выполнению структурных, функциональных и принципиальных электрических схем

Все схемы разрабатываются и оформляются в соответствии со стандартом ЕСКД 7-й классификационной группы. Общие требования к выполнению схем определяет – ГОСТ 2.701-84, правила выполнения электрических схем – ГОСТ 2.702-75, а правила выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники – ГОСТ 2.708-81.

На *структурной электрической схеме* (шифр Э1) изображают все основные функциональные части изделия и основные связи между ними. На линиях взаимосвязи рекомендуется стрелками показывать направление хода процесса (например, сигнала).

Функциональные части на схеме изображают в виде прямоугольников или условных графических изображений (ГОСТ 2.721-74 - 2.758-82), а их наименование, тип и обозначение записывают внутри прямоугольников.

При большом количестве функциональных частей можно обозначить их порядковыми номерами, располагаемыми справа от изображений или над ними обычно сверху вниз в направлении слева направо, а наименования, типы и обозначения частей указывать в таблице, помещаемой над основной надписью.

На *функциональной электрической схеме* (шифр Э2) изображают все функциональные части изделия (элементы, устройства и функциональные группы) и связи между ними.

Как правило, функциональные части изображают в виде условных графических обозначений, но отдельные из них допускается изображать в виде прямоугольников. Каждая функциональная часть должна иметь обозначение.

Для каждой функциональной части приводят рядом с графическим изображением или на свободном поле схемы ее основные технические характеристики (например, форма сигнала, рабочая частота, затухание и т.п.).

На схеме помещают также поясняющие надписи, диаграммы или таблицы, определяющие последовательность процессов во времени, а также указывают параметры процесса в характерных точках.

На *принципиальной электрической схеме* (шифр Э3) изображают все электрические элементы или устройства и все электрические связи между ними, а также электрические элементы (разъемы, зажимы и т.п.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи. На схеме рекомендуется также помещать характеристики входных и выходных цепей (частоту, напряжение и т.п.), а также параметры, подлежащие измерению; разрешается помещать также таблицы (замыкание контактов коммутирующих устройств) и текстовые указания (специфические требования к монтажу).

Схема выполняется для изделия, находящегося в отключенном положении.

Все электрические элементы, устройства и линии связи между ними изображают в виде условных графических обозначений.

Каждый элемент или устройство, входящее в изделие и изображенное на схеме, должны иметь буквенно-цифровое позиционное обозначение в соответствии с ГОСТ 2.710-81. Позиционные обозначения проставляют на схеме рядом с условным графическим обозначением элементов и устройств справа или над ними.

4 ПОРЯДОК И СРОКИ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Кр выполняется согласно календарному плану, который выдает преподаватель (прил. 1). В течение учебного семестра, периодически производится аттестация преподавателем соответствия выполненной студентом работы календарному плану. Обычно это происходит во время контрольной недели. Контрольный балл студента напрямую зависит от результатов аттестации.

5 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

Тема 1. Введение

Основные понятия, связанные с объектами и средствами измерений (СИ). Общие свойства средств измерений. Методы измерений. Принципы построения средств измерения и контроля.

Погрешности измерений. Общие свойства и элементы приборов. Оптимизация точности и выбор средств измерения. Закономерности формирования результата измерения, алгоритмы обработки многократных измерений, показатели качества измерительной информации.

Вопросы для самоподготовки

- 1.1. Метрологические характеристики средств измерений
- 1.2. Методы повышения точности измерений
- 1.3. Неопределенность измерений

Тема 2. Электромеханические приборы

Электромеханические приборы прямого преобразования. Магнитоэлектрические приборы. Электромагнитные приборы.

Электродинамические и ферродинамические приборы. Электростатические приборы. Индукционные приборы.

Вопросы для самоподготовки

- 2.1. Ферродинамические приборы.
- 2.2. Индукционные приборы.
- 2.3. Устройство успокоителей.

Тема 3. Приборы сравнения

Общие свойства и элементы приборов сравнения. Мосты постоянного тока. Мосты переменного тока.

Компенсаторы. Автоматические мосты и компенсаторы.

Вопросы для самоподготовки

- 3.1. Двойной мост Томсона.
- 3.2. Измерение емкости мостовым методом.
- 3.3. Измерение индуктивности мостовым методом.
- 3.4. Резонансный метод.

Тема 4. Электронные измерительные приборы.

Общие свойства и элементы электронных измерительных приборов. Выпрямительные измерительные приборы. Электронные омметры. Электронные вольтметры. Электронно-лучевые осциллографы.

Вопросы для самоподготовки

- 4.1. Электронно-лучевые осциллографы.
- 4.2. Электронные омметры.
- 4.3. Электронные вольтметры.
- 4.4. Метрологические характеристики аналоговых и цифровых приборов.

Тема 5. Цифровые измерительные приборы

Общие свойства и элементы цифровых измерительных приборов. Цифровые вольтметры.

Цифровые частотомеры. Комбинированные цифровые измерительные приборы. Микропроцессорные цифровые измерительные приборы.

Вопросы для самоподготовки

- 5.1. Приборные интерфейсы.
- 5.2. Цифровые омметры.
- 5.3. Цифровые мосты.
- 5.4. Анализаторы качества электроэнергии.

Тема 6. Масштабные измерительные преобразователи

Масштабные измерительные преобразователи. Средства регулирования параметров измерительных цепей. Шунтирующие и добавочные резисторы. Измерительные трансформаторы. Измерительные усилители.

Вопросы для самоподготовки

- 6.1. Токовые клещи.
- 6.2. Устройство делителей.
- 6.3. Устройство усилителей.

Тема 7. Измерение и контроль электрических величин

Измерение и контроль электрических величин. Измерение тока и напряжения. Измерение мощности. Контроль коэффициента мощности. Учет электрической энергии.

Измерение сопротивлений. Измерение емкости конденсаторов, индуктивности и взаимной индуктивности катушек. Измерение частоты, магнитных величин.

Вопросы для самоподготовки

7.1. Влияние сопротивления электроизмерительных приборов на результат измерений.

7.2. Контроль коэффициента мощности.

7.3. Учет электрической энергии.

7.4. Измерение магнитных величин.

Тема 8. Измерение неэлектрических величин

Общие сведения об измерениях неэлектрических величин. Измерение и контроль механических величин. Метрологические характеристики и классификация измерительных преобразователей. Измерение и контроль параметров производства продукции растениеводства.

Вопросы для самоподготовки

8.1. Уровнемеры.

8.2. Манометры.

8.3. Расходомеры

8.4. Измерение концентрации жидкостей.

Тема 9. Измерительные информационные системы

Общие свойства и элементы измерительных информационных систем. Основные структуры измерительных информационных систем. Измерительные информационные системы в агропромышленном производстве.

Вопросы для самоподготовки

9.1. Методы преобразования и передачи измерительной информации.

9.2. Телеизмерительные системы.

9.3. Автоматизированные системы учета энергоресурсов.

Список рекомендованной литературы

1. **Атамалян Э.Г.** Приборы и методы измерения электрических величин / Э. Г. Атамалян. - Изд. 4-е, стерсотим. – М.: Дрофа, 2008. – 415 с.
2. **Алейников А.Ф.** Датчики (перспективные направления развития): учеб. пособие / под. ред. проф. М.П. Цапенко / А.Ф. Алейников, В.А. Гридчин, М.П. Цапенко. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. – 176 с.
3. **Аш Ж.** Датчики измерительных систем: в 2 кн. / пер. с франц / Ж. Аш. – М.: Мир, 1992. – Кн. 1. – 480 с.
4. **Аш Ж.** Датчики измерительных систем: в 2 кн. / пер. с франц / Ж. Аш. – М.: Мир, 1992. – Кн. 2. – 424 с.
5. **Джексон Р.Г.** Новейшие датчики / Р.Г. Джексон. – М.: Техносфера, 2007. – 384 с.
6. **Калиниченко А.В.** Справочник инженера по контрольно-измерительным приборам и автоматике / А.В. Калиниченко. – М.: Инфра-Инженерия, 2008. – 576 с.
7. **Кравцов А.В.** Электрические измерения :учеб. пособие / А.В. Кравцов, А.В. Пузарин. - М.: РИОР : ИНФРА-М, 2018. – 148 с.
8. **Мейзда Ф.** Электронные измерительные приборы и методы измерений: Пер. с англ. / Ф. Мейзда – М.: Мир, 1990. – 535 с.
9. **Нефедов В.И.** Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: учеб. для вузов / В.И. Нефедов, А.С. Сигов, В.К. Битюков и др; под ред. В.И. Нефедова и А.С. Сигова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2005. – 599 с.
10. **Пелевин В.Ф.** Метрология и средства измерений: Учебное пособие / В.Ф. Пелевин. - М.: НИЦ ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2013. - 272 с.
11. **Ратхор Т.С.** Цифровые измерения. Методы и схемотехника / Т.С. Ратхор. – М.: Техносфера, 2004. – 376 с.
12. **Тартаковский Д.Ф.** Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учеб. / Д.Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов.; изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2008. – 209 с.
13. **Фрайден Дж.** Современные датчики: справ. / Дж. Фрайден. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
14. **Хромонн П.К.** Электротехнические измерения Учеб. пособие (ГРИФ) / 2-е изд., исправ. и доп. — М.: Форум, 2011. — 288 с.
15. **Александров К.К.** Электротехнические чертежи и схемы / К.К. Александров, Е.Г. Кузьмина. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.
16. **Алиев Т.В.** Измерительная техника / Т.В. Алиев. – М.: Высш. шк., 1991. – 384 с.
17. **Бохан Н.Н.** Технические средства автоматике и телемеханики / Н.Н. Бохан, Н.Ф. Бородин и др. – М.: Агропромиздат, 1992. – 390 с.

18. **Вайспапир В.Я.** ЕСКД в студенческих работах: учеб. пособие / В.Я. Вайспапир и др. – Новосибирск: СибГУТИ, 2009. – 214 с.
19. **Евтохин Н.Н.** Измерение электрических и неэлектрических величин / Н.Н. Евтохин. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 350с.
20. **Зарипов М.Ф.** Электрические измерения электрических и неэлектрических величин / М.Ф. Зарипов, М.А. Ураксеев. – Ура: УАИ, 1974. – 256с.
21. **Панев Б.И.** Электрические измерения: Справочник / Б.И. Панев – М.: Агропромиздат, 1987. – 224 с.
22. **Панфилов В.А.** Электрические измерения: учеб. для сред. проф. образования по специальности 140212 / В.А. Панфилов. – М., 2008.
23. **Кравцов А.В.** Электрические измерения / А.В. Кравцов, Ю.В. Рыбинский. – М: Колос, 1979. – 351 с.
24. **Малиновский В.Н.** Электрические измерения / В.Н. Малиновский и др. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 416 с.
25. **Можегов Н.А.** Автоматические средства измерений объема, уровня и пористости материалов / Н.А. Можегов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 120 с.
26. **Левшина Е.С.** Электрические измерения физических величин / Е.С. Левшина. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 420 с.
27. **Шичков Л.П.** Электрооборудование и средства автоматизации сельскохозяйственной техники / Л.П. Шичков, А.П. Коломиец. – М.: Колос, 1995. – 368 с.
28. **Шишмарев В.Ю.** Электрорадиоизмерения: практикум. – 2-е изд., стереотип / В.Ю. Шишмарев. – М.: Академия, 2009. – 233 с.
29. Контрольно-измерительные приборы и автоматика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.kip.su
30. ПРИСТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.prist.com

Библиографический список

Электрические измерения: методические указания по выполнению контрольной работы / Новосиб. гос. аграр. ун-т, Инженер. ин-т; сост. М.В. Самохвалов. – Новосибирск, 2017. – 58 с.

ФГБОУ ВО НОВОСИБИРСКИЙ ГАУ

Инженерный институт

Кафедра техносферной безопасности и электротехнологий

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

по дисциплине

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

На тему:

Определение давления в системе отопления

Выполнил (а) студент
Иванов И.В.
Группа 337
Проверил
Самохвалов М.В.

НОВОСИБИРСК 2021

Задание
на контрольную работу
по дисциплине
«Электрические измерения»

Тема контрольной работы:

Определение давления в системе отопления

Исходные требования к измеряемому средству

Диапазон измерения _____ 0 до 2 МПа _____

Время измерения _____

Погрешность измерения _____ 1 % _____

Результаты измерения должны выдаваться в виде _____
показаний на цифровом табло _____

Климатические условия работы средства измерения:

отн. влажность воздуха _____ до 80% _____

атмосферное давление _____

температура _____ от 10 до +50 °С _____

Особенности режимов работы средства измерения

_____ вибрация _____

Дополнительные требования _____ невысокая цена _____

Дополнительное задание

Иванов И.В. _____

(ФИО Студента, Подпись)

(Подпись преподавателя)

Календарный план выполнения Кр

№ п/п	Раздел	Срок выполнения	1-я аттестация, %	2-я аттестация, %
1	Ознакомление с исходными материалами и литературой			
2	Введение			
3	Аналитический обзор принципов, методов и средств измерения			
4	Обоснование выбора датчика			
5	Обоснование выбора АЦП, индикаторного устройства			
6	Разработка конструкций узлов, электрических схем. Технические расчеты			
11	Выполнение чертежа			
12	Метрологическое обеспечение.			
13	Выводы и предложения			
14	Оформление расчетно-пояснительной записки			
15	Срок сдачи законченной работы			

Норма 40 % Норма 70 %

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	27
1 МЕТОДЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ.....	29
1.1 Тензометрический метод.....	29
1.2 Пьезорезистивный метод.....	30
1.3 Емкостный метод	32
1.4 Резонансный метод	33
1.5 Индукционный метод	33
1.6 Ионизационный метод.....	34
2 ФИЗИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДАВЛЕНИЯ.....	37
3 ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ	42
3.1 Обоснование и выбор датчика	42
3.1.1 Основные технические характеристики датчиков давления МТ100М (Ех)	42
3.1.2 Устройство и работа датчиков давления МТ100М.....	43
3.2.1 Технические характеристики прибора:	46
3.2.2 Условия эксплуатации прибора	46
3.2.3 Принцип действия прибора.....	46
4 ИСТОЧНИКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ.....	48
4.1 Источники погрешностей.....	48
4.2 Подготовка к работе и эксплуатация датчиков давления МТ100М	48
4.3 Измерение параметров, регулирование и настройка датчиков давления МТ100М.....	49
4.4 Методика поверки	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	51
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	52

ВВЕДЕНИЕ

Давление является одним из важнейших физических параметров, и его измерение необходимо как, например, для определения расхода количества среды, так и в технологических целях, например для контроля и прогнозирования безопасных и эффективных гидравлических режимов работы напорных трубопроводов, а также для применения в автоматизированных системах с частотными преобразователями со встроенными автоматическими регуляторами в замкнутом контуре управления для изменения оборотов электроприводов насосов.

Измерительные приборы давления классифицируются по принципу действия и конструкции, по виду измеряемого давления, по применению и назначению, по типу отображения данных и другим признакам.

По виду измеряемого давления приборы подразделяются на приборы для измерения избыточного и абсолютного давления – манометры, разрежения – вакуумметры, давления и разрежения – мановакуумметры, атмосферного давления – барометры и разностного давления – дифференциальные манометры (дифманометры). Манометры, вакуумметры и мановакуумметры для измерения небольших (до 20-40 кПа) давлений газовых сред называют соответственно напоромерами, тягомерами и тягонапоромерами, а дифманометры с таким диапазоном измерения – микроманометрами.

По способу обработки и отображения измеряемого давления ИПД подразделяют на первичные (формируют для дистанционной передачи выходной сигнал, соответствующий измеряемому давлению) и вторичные (получают сигнал от первичных преобразователей, обрабатывают его, накапливают, отображают и передают на более высокий уровень измерительной системы).

Особенности развития ИПД заключаются в их «интеллектуализации» на базе микроэлектронной технологии и микропроцессорной техники, предполагающей передачу части функций системы управления вторичным преобразователям, а некоторых традиционных функций вторичных преобразователей – первичным.

Известны многие способы преобразования давления в электрический сигнал, но только некоторые из них получили широкое применение в общепромышленных ИПД.

Исходя из требований задания для измерения давления в системе отопления, необходимо выбрать средство измерения, удовлетворяющее следующим требованиям:

- среда измерения – жидкость в трубопроводе температурой от 20 до 100 °С;
- диапазон изменения давления жидкости – от 0 до 2 МПа;

- измерительный преобразователь должен выдерживать воздействие вибрации;
- индикаторное устройство может находиться в условиях воздействия температуры от +10 до +50 °С и относительной влажности воздуха до 80%, и выводит показания на цифровое табло;
- общая погрешность измерения не должна превышать 1%;
- стоимость средства измерения должна быть невысокая, по сравнению с аналогами.

1 МЕТОДЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Датчик давления (рис. 1.1) состоит из первичного преобразователя давления, в составе которого чувствительный элемент и приемник давления, схемы вторичной обработки сигнала, различных по конструкции корпусных деталей и устройства вывода. Основным отличием одних приборов от других является точность регистрации давления, которая зависит от принципа преобразования давления в электрический сигнал: тензометрический, пьезорезистивный, емкостной, индуктивный, резонансный, ионизационный.

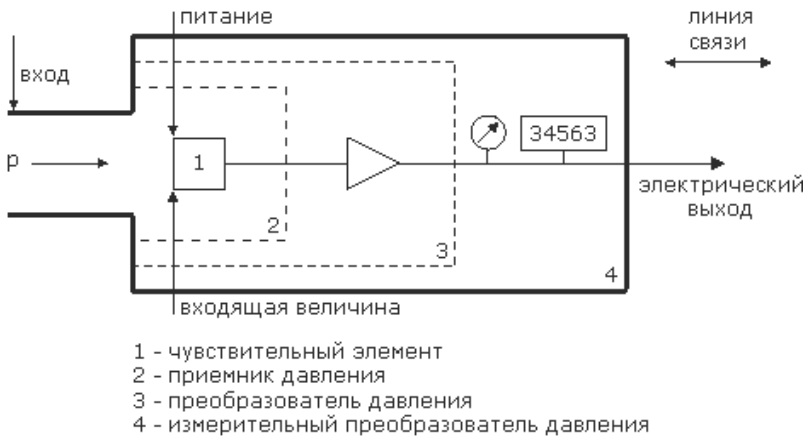


Рис. 1.1 - Блок-схема преобразователя давления в электрический сигнал

1.1 Тензометрический метод

В настоящее время основная масса датчиков давления в нашей стране выпускаются на основе чувствительных элементов (рис. 1.1.2), принципом которых является измерение деформации тензорезисторов, сформированных в эпитаксиальной пленке кремния на подложке из сапфира (КНС), припаянной твердым припоем к титановой мембране. Иногда вместо кремниевых тензорезисторов используют металлические: медные, никелевые, железные и др.

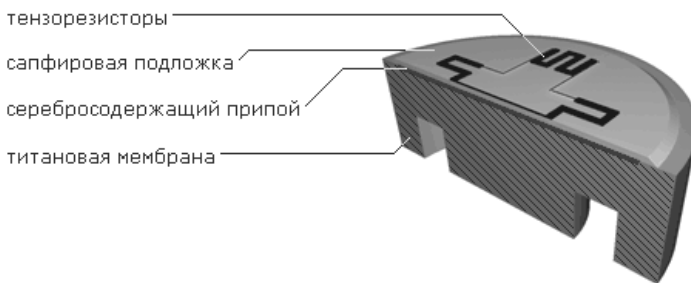


Рис. 1.1.2 - Упрощенный вид тензорезистивного чувствительного элемента

Принцип действия тензопреобразователей основан на явлении тензоэффекта в материалах. Чувствительным элементом служит мембрана с тензорезисторами, соединенными в мостовую схему. Под действием давления измеряемой среды мембрана прогибается, тензорезисторы меняют свое сопротивление, что приводит к разбалансу моста Уитстона. Разбаланс линейно зависит от степени деформации резисторов и, следовательно, от приложенного давления.

Следует отметить принципиальное ограничение КНС преобразователя – неустраняемую временную нестабильность градуировочной характеристики и существенные гистерезисные эффекты от давления и температуры. Это обусловлено неоднородностью конструкции и жесткой связью мембраны с конструктивными элементами датчика. Поэтому, выбирая преобразователь на основе КНС, необходимо обратить внимание на величину основной погрешности с учетом гистерезиса и величину дополнительной погрешности.

К преимуществам можно отнести хорошую защищенность чувствительного элемента от воздействия любой агрессивной среды, налаженное серийное производство, низкую стоимость.

1.2 Пьезорезистивный метод

Практически все производители датчиков в России проявляют живой интерес к использованию интегральных чувствительных элементов на основе монокристаллического кремния. Это обусловлено тем, что кремниевые преобразователи имеют на порядок большую временную и температурную стабильности по сравнению с приборами на основе КНС структур.

Кремниевый интегральный преобразователь давления (ИПД, рис. 1.2.1) представляет собой мембрану из монокристаллического кремния с диффузионными пьезорезисторами, подключенными в мост Уинстона. Чувствительным

элементом служит кристалл ИПД, установленный на диэлектрическое основание с использованием легкоплавкого стекла или методом анодного сращивания.

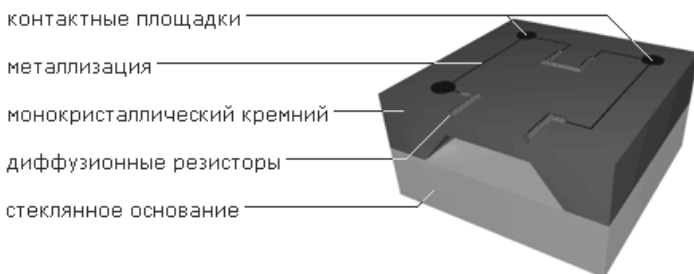


Рис. 1.2.1 - Кремниевый интегральный преобразователь давления

Для измерения давления чистых неагрессивных сред применяются так называемые Low-cost-решения (рис. 1.2.2), основанные на использовании чувствительных элементов либо без защиты, либо с защитой силиконовым гелем.

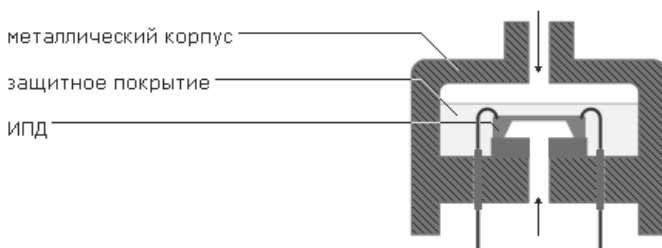


Рис. 1.2.2 – Low-Cost-решение для пьезорезистивных чувствительных элементов с использованием защитного покрытия

Для измерения агрессивных сред и большинства промышленных применений используется преобразователь давления в герметичном металло-стеклянном корпусе, с разделительной диафрагмой из нержавеющей стали, передающей давление измеряемой среды на ИПД посредством кремнийорганической жидкости (рис. 1.2.5).

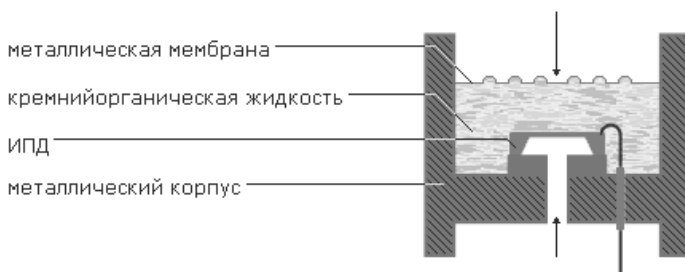


Рис. 1.2.3 – Преобразователь давления, защищенный от измеряемой среды посредством коррозионно-стойкой мембраны

Основным преимуществом пьезорезистивных датчиков является более высокая стабильность характеристик по сравнению с КНС-преобразователями. ИПД на основе монокристаллического кремния устойчивы к воздействию ударных и знакопеременных нагрузок. Если не происходит механического разрушения чувствительного элемента, то после снятия нагрузки он возвращается к первоначальному состоянию, что объясняется использованием идеально упругого материала.

1.3 Емкостный метод

Емкостные преобразователи используют метод изменения емкости конденсатора при изменении расстояния между обкладками. Известны керамические или кремниевые емкостные первичные преобразователи давления и преобразователи, выполненные с использованием упругой металлической мембраны. При изменении давления мембрана с электродом деформируется и происходит изменение емкости.

В элементе из керамики или кремния, пространство между обкладками обычно заполнено маслом или другой органической жидкостью (рис. 1.3.1).



Рис. 1.3.1 – Емкостный преобразователь давления. В данном варианте роль подвижной обкладки конденсатора выполняет металлическая диафрагма

Достоинством чувствительного емкостного элемента является простота конструкции, высокая точность и временная стабильность, возможность измерять низкие давления и слабый вакуум.

К недостатку можно отнести нелинейную зависимость емкости от приложенного давления.

1.4 Резонансный метод

Резонансный принцип используется в датчиках давления на основе вибрирующего цилиндра, струнных датчиках, кварцевых датчиках, резонансных датчиках на кремнии. В основе метода лежат волновые процессы: акустические или электромагнитные. Это и объясняет высокую стабильность датчиков и высокие выходные характеристики прибора.

Частным примером может служить кварцевый резонатор (рис. 1.4.1). При прогибе мембраны происходит деформация кристалла кварца, подключенного в электрическую схему и его поляризация. В результате изменения давления частота колебаний кристалла меняется. Подобрать параметры резонансного контура, изменяя емкость конденсатора или индуктивность катушки, можно добиться того, что сопротивление кварца падает до нуля, частоты колебаний электрического сигнала и кристалла совпадают и наступает резонанс.

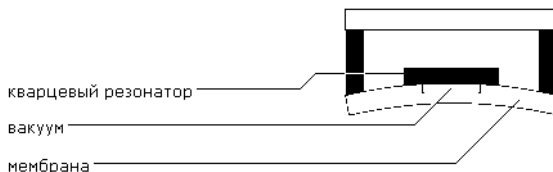


Рис. 1.4.1 – Упрощенный вид резонансного чувствительного элемента, выполненного на кварце

Преимуществом резонансных датчиков является высокая точность и стабильность характеристик, которая зависит от качества используемого материала.

К недостаткам можно отнести индивидуальную характеристику преобразования давления, значительное время отклика, невозможность проводить измерения в агрессивных средах без потери точности показаний прибора.

1.5 Индукционный метод

Индукционный способ основан на регистрации вихревых токов (токов Фуко). Чувствительный элемент состоит из двух катушек, изолированных между собой металлическим экраном (рис. 1.5.1). Преобразователь измеряет смещение мембраны при отсутствии механического контакта. В катушках генерируется

электрический сигнал переменного тока таким образом, что заряд и разряд катушек происходит через одинаковые промежутки времени. При отклонении мембраны создается ток в фиксированной основной катушке, что приводит к изменению индуктивности системы. Смещение характеристик основной катушки дает возможность преобразовать давление в стандартизованный сигнал, по своим параметрам прямо пропорциональный приложенному давлению.



Рис. 1.5.1 – Принципиальная схема индукционного преобразователя давления

Преимуществом такой системы является возможность измерения низких избыточных и дифференциальных давлений, достаточно высокая точность и незначительная температурная зависимость.

Однако датчик чувствителен к магнитным воздействиям, что объясняется наличием катушек, которые при прохождении переменного сигнала создают магнитное поле.

1.6 Ионизационный метод

В основе лежит принцип регистрации потока ионизированных частиц. Аналогом являются ламповые диоды (рис. 1.6.1).

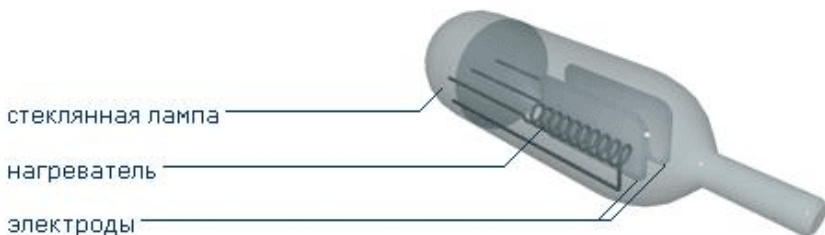


Рис. 1.6.1 - Ионизационный датчик вакуума

Лампа оснащена двумя электродами: катодом и анодом, — а также нагревателем. В некоторых лампах последний отсутствует, что связано с использовани-

ем более совершенных материалов для электродов. Корпус лампы выполнен из высококачественного стекла.

Преимуществом таких ламп является возможность регистрировать низкое давление (вплоть до глубокого вакуума) с высокой точностью. Однако следует строго учитывать, что подобные приборы нельзя эксплуатировать, если давление в камере близко к атмосферному. Поэтому подобные преобразователи необходимо сочетать с другими датчиками давления, например, емкостными. Помимо прочего, ионизационные лампы должны оснащаться дополнительными приборами, поскольку зависимость сигнала от давления является логарифмической.

Таблица 1.1 – Основные достоинства и недостатки различных методов преобразования давления в электрический сигнал

Достоинства	Недостатки
1	2
Тензометрический (КНС-преобразователи)	
1. Высокая степень защиты от агрессивной среды 2. Высокий предел рабочей температуры 3. Налажено серийное производство 4. Низкая стоимость	1. Неустраняемая нестабильность градуировочной характеристики 2. Высокие гистерезисные эффекты от давления и температуры 3. Низкая устойчивость при воздействии ударных нагрузок и вибраций

Продолжение таблицы 1,1

1	2
Пьезорезистивный (на монокристаллическом кремнии)	
1. Высокая стабильность характеристик 2. Устойчивость к ударным нагрузкам и вибрациям 3. Низкие (практически отсутствуют) гистерезисные эффекты 4. Высокая точность 5. Низкая цена 6. Возможность измерять давление различными агрессивными средствами	1. Ограничение по температуре (до 150°C)
Емкостной	
1. Высокая точность 2. Высокая стабильность характеристик 3. Возможность измерять низкий вакуум 4. Простота конструкции	1. Зачастую нелинейная зависимость емкости от приложенного давления 2. Необходимо дополнительное оборудование или электрическая схема для преобразования емкостной зависимости в один из стандартных выходных сигналов
Резонансный	
1. Высокая стабильность характеристик 2. Высокая точность измерения давления	1. При измерении давления агрессивных сред необходимо защитить чувствительный элемент, что приводит к потере точности измерения 2. Высокая цена 3. Длительное время отклика

	4. Индивидуальная характеристика преобразования давления в электрический сигнал
Индукционный	
1. Возможность измерять дифференциальные давления с высокой точностью 2. Незначительное влияние температуры на точность измерения	1. Сильное влияние магнитного поля 2. Чувствительность к вибрациям и ударам
Ионизационный	
1. Возможность измерения высокого вакуума 2. Высокая точность 3. Стабильность выходных параметров	1. Нельзя использовать подобные приборы при высоком давлении (низкий вакуум является порогом) 2. Нелинейная зависимость выходного сигнала от приложенного давления 3. Высокая хрупкость 4. Необходимо сочетать с другими датчиками давления

2 ФИЗИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДАВЛЕНИЯ

Исходя из условий задания на контрольную работу наиболее оптимальным с точки зрения сочетания цены, качества, надежности и погрешности измерения, является тензорезистивный метод преобразования давления.

В основе принципа действия тензорезистивного датчика давления лежит явление тензоэффекта, заключающееся в изменении электрического сопротивления проводников и полупроводников при их механической деформации.

Сопротивление R резистора, выполненного в виде проволоки длиной l , определяется известным выражением

$$R = \frac{\rho l}{S}, \quad (2.1)$$

где ρ – удельное сопротивление материала проволоки;

S – площадь поперечного сечения проволоки.

Дифференцируя выражение (2.1) и переходя к конечным приращениям, получим, что продольной упругой деформации проволоки соответствует относительное изменение ее сопротивления

$$\varepsilon = \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S}, \quad (2.2)$$

где ΔR , $\Delta \rho$, ΔS – абсолютные приращения сопротивления, удельного сопротивления, длины и площади поперечного сопротивления проводника соответственно.

В твердом теле в зоне упругих деформаций величины поперечных и продольных деформаций связаны выражением

$$e_{\hat{a}} = \mu e_l, \quad (2.3)$$

где $e_l = \Delta l/l$ – значение относительной продольной деформации;

$e_{\hat{a}} = \Delta \hat{a}/\hat{a}$ – значение относительной поперечной деформации;

μ – коэффициент Пуассона.

С учетом выражений (2.2) и (2.3) величина относительного изменения проводника диаметром d и длиной l

$$\varepsilon_R = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta d \pi d}{2\pi d^2/4} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \varepsilon_l - 2 \frac{\Delta d}{d} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \varepsilon_l - 2\varepsilon_l = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \varepsilon_l + 2\mu\varepsilon_l =$$

$$= \frac{\Delta\rho}{\rho} + \varepsilon_i(1 + 2\mu). \quad (2.4)$$

Устройство наиболее распространенного типа наклеиваемого проволочного тензорезистора изображено на рис.2.1 а. На полоску тонкой бумаги или лаковой пленки 1 наклеивается так называемая решетка из зигзагообразно уложенной тонкой проволоки 2 диаметром 0,02 - 0,05 мм. К концам проволоки присоединяются (пайкой или сваркой) выводные медные проводники 3. После высыхания слоя клея сверху преобразователь покрывается защитным слоем лака 4. Если такой преобразователь наклеить на поверхность испытуемой детали, то он будет воспринимать деформации ее поверхностного слоя. Измерительной базой преобразователя является длина детали, занимаемая проволокой. Наиболее часто используются проволочные преобразователи с базами 5-20 мм, обладающие сопротивлением 50-500 Ом.

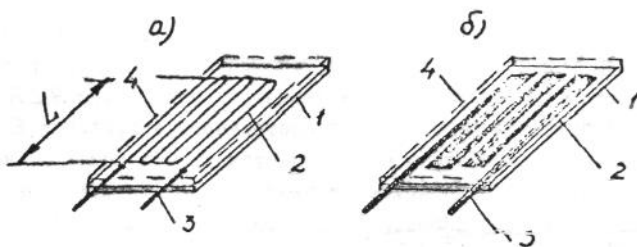


Рис. 2.1 – Конструкции тензорезисторных преобразователей

Тензопреобразователи с решеткой из фольги (рис. 2.1 б) получаются путем химического травления фольги 2, толщиной 4 ~ 12 мкм, нанесенной сплошным слоем на поверхность подложки 1 из непроводящего материала. Фольговые преобразователи имеют меньшие габариты, чем обычные проволочные, и могут иметь базу $L = 0,5-5$ мм.

Металлические пленочные тензорезисторы изготавливаются путем напыления в вакууме на поверхность тонкой подложки слоя тензо-чувствительного материала с последующим травлением слоя проводящего материала с целью формирования решетки тензорезистора. Пленочные тензорезисторы имеют толщину 1 мкм и менее, базу 0,1-0,5 мм и конфигурацию, аналогичную фольговым тензорезисторам (рис. 2.1 б).

Наиболее распространенной измерительной цепью для тензорезисторов является мостовая измерительная схема, работающая в неравновесном режиме.

На рис. 2.2, а приведена мостовая схема, в которой в качестве одного плеча включен тензорезистор R_1 , а остальные три плеча моста являются постоянными фиксированными резисторами R_2, R_3, R_4 . Схема питается от источника постоянного напряжения E . С измерительной диагонали моста снимается напряжение U_M , которое может быть подано на измерительный прибор или регистратор. Приведенная схема неравновесного измерительного моста обладает значительной температурной погрешностью. Тензорезистор R_1 располагается непосредственно на объекте измерения, а резисторы R_2, R_3, R_4 – в блоке вторичной аппаратуры, содержащем усилители, блоки питания, показывающие приборы, удаленном от объекта измерения и находящемся в других климатических условиях. При изменении температуры поверхности объекта измерения будет изменяться сопротивление тензорезистора R_1 , что приведет к изменению выходного напряжения U_M мостовой схемы при отсутствии упругой деформации решетки тензорезистора.

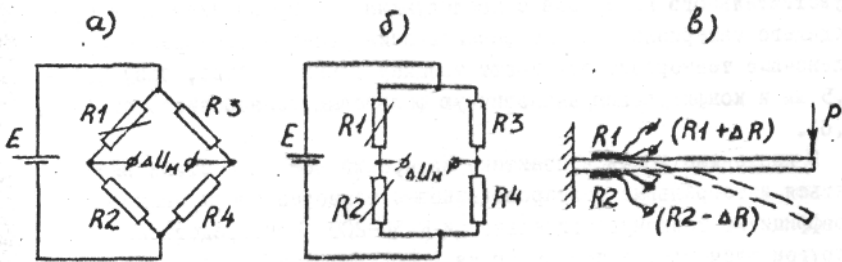


Рис. 2.2 - Схемы включения тензорезисторов

При дифференциальном включении двух идентичных тензорезисторов R_1 и R_2 в два соседних плеча моста (рис. 2.2 б) удастся понизить температурную погрешность нуля в 10-20 раз по сравнению с предыдущей схемой включения.

Пример физической реализации дифференциальной мостовой схемы измерения представлен на рис. 2.2 в. На поверхности консольно закрепленной упругой балки l наклеены тензорезисторы R_1 и R_2 , которые включены в качестве плеч мостовой измерительной схемы и имеют равные сопротивления ($R_1=R_2$). При равенстве сопротивлений двух других плеч моста (R_3 и R_4) выходной сигнал с измерительной диагонали моста равен нулю ($\Delta U_M=0$).

При воздействии на конец консольной балки измеряемого усилия $P \neq 0$ балка прогнется (см. пунктирное изображение балки на рис. 2.2 в), что приведет к по-

явлению упругих деформаций и напряжений растяжения на верхней поверхности балки и напряжений сжатия на нижней ее поверхности. Упругие деформации балки будут восприняты наклеенными тензорезисторами, и их сопротивления изменятся соответственно до значений $R1 + \Delta R$ и $R2 - \Delta R$ (см. рис. 2.2 б и 2.2 в). При этом на выходе мостовой схемы появится напряжение ΔU_M функционально связанное с измеряемым усилием P . При идентичных параметрах тензорезисторов погрешность нуля, обусловленная изменением их активного сопротивления вследствие изменения температуры балки, будет близка к нулю, поскольку абсолютные значения приращений сопротивлений $\Delta R1$ и $\Delta R2$ будут равны и не вызовут разбаланса мостовой схемы, а следовательно, и дополнительного приращения выходного напряжения U_M .

С целью уменьшения влияния изменения температуры окружающей среды на чувствительность мостовой схемы довольно часто в качестве пассивных плеч мостовой схемы $R3$ и $R4$ также используются тензорезисторы, расположенные на объекте измерения или рядом с ним, но не воспринимающие измеряемых упругих деформаций.

В инженерной практике выходной сигнал с диагонали неравновесного моста подается на вход электронного усилителя, а затем на измерительный прибор или регистратор, в качестве которого может быть использован электромеханический светолучевой осциллограф.

Функциональная блок-схема тензорезистивного метода измерения давления представлена на рис. 2.3.

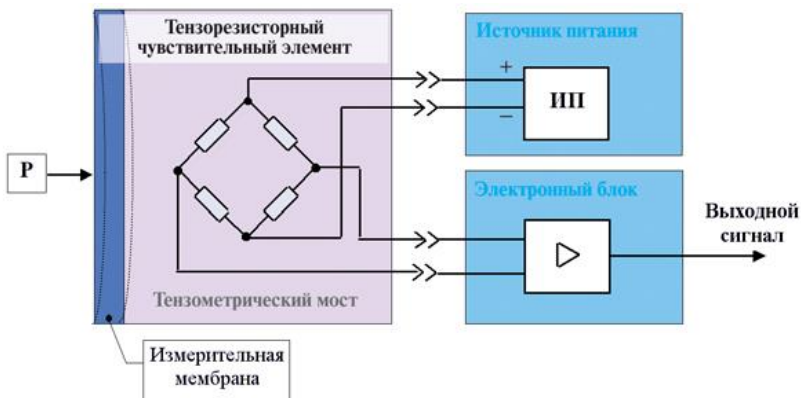


Рис. 2.3 - Функциональная блок-схема тензорезистивного преобразователя давления

Деформация мембраны под воздействием внешнего давления P приводит к локальным деформациям тензорезисторного моста и его разбалансу – изменению сопротивления, которое измеряется электронным блоком (рис. 2.3).

3 ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

3.1 Обоснование и выбор датчика

Из всей номенклатуры датчиков, основанных на тензорезистивном методе преобразования давления, произведем выбор наиболее подходящего.

Основными критериями выбора являются: соответствие метрологических характеристик датчика заданию, цена, массовость, надежность, виброустойчивость.

Наиболее подходящим вариантом является датчик давления МТ100М. Датчики давления серии МТ предназначены для постоянного и равномерного преобразования давления жидкостей, газа, пара и т.д. в унифицированный токовый сигнал (0-5; 4-20 мА). Все датчики давления МТ100М (Ех) термокомпенсированы по 0 и по всему диапазону измерения, а также в каждом датчике предусмотрена возможность регулировок 0 и диапазона.

3.1.1 Основные технические характеристики датчиков давления МТ100М (Ех)

Диапазон измерений: 0 до 2,5 МПа

Предел основной допускаемой погрешности: $g \pm 0,5 \%$.

Устойчивость к климатическим воздействиям -55...+80°C.

Степень защиты от воды и пыли IP65 по ГОСТ 1425.

Относительная влажность окружающего воздуха: до 95% при 35 °С

Температура измеряемой среды: +130 °С.

По устойчивости к механическим воздействиям датчики соответствуют исполнению VI по ГОСТ 12997-84.

Выходной сигнал 0-5; 4-20 мА.

Напряжение питания 24 В.

Масса датчика: не более 0,3 кг.

Длина датчика: 130 мм.

Диаметр корпуса: 34 мм.

Межповерочный интервал: 3 года.

Средний срок службы: 15 лет.

Виброустойчивость, вибропрочность: 10G.

Предельное допускаемое давление перегрузки: 10 МПа

Вариация выходного сигнала: не более предела, равного 0,5g %.

Наибольшее отклонение действительной характеристики преобразования гм от установленной зависимости, включая вариацию, нелинейность и по-

вторяемость показаний, (отклонение гм) не превышает 0,15% диапазона измерений для датчиков с пределами допускаемой основной погрешности $\pm 0,15$; $\pm 0,2$ % и 0,2; 0,25 %; диапазона измерений для датчиков с пределами допускаемой основной погрешности $\pm 0,25$; $\pm 0,5$ % соответственно.

Предельно допускаемое смещение нуля [Dot] (изменение выходного сигнала при нулевом значении измеряемого параметра) и изменение диапазона выходного сигнала [Ddot], вызванные изменением температуры окружающего воздуха от (23 ± 2) °С до любой температуры в рабочем диапазоне температур не превышают каждое в отдельности $\pm 0,2$ %; диапазона измерений на каждые 10 °С изменения температуры.

Электрическое питание датчиков осуществляется от источника постоянного тока напряжением от 15 до 42 В, но не менее определяемого по формуле

$$U_{\text{н min}} = I_{\text{в}}R_{\text{н}} + U_{\text{min}}, \quad (3.1)$$

где $U_{\text{н min}}$ – минимальное допускаемое напряжение питания при нагрузке $R_{\text{н}}$, В;

$R_{\text{н}}$ - сопротивление нагрузки;

U_{min} - минимальное допускаемое напряжение питания без нагрузки, равное 10 В;

$I_{\text{в}}$ - верхнее предельное значение выходного сигнала, равное 20 мА.

Сопротивление изоляции источников питания: не менее 40 МОм, пульсация (двойная амплитуда) их выходного напряжения – не более 0,5 % его номинального значения при частоте гармонических составляющих, не превышающей 500 Гц.

Потребляемая мощность:

не более 0,8 В·А – при напряжении питания до 36 В.

Датчики имеют следующее исполнения по материалам, контактирующим с измеряемой средой:

титан ВТ1-0 – материал мембраны;

сплав 36НХТЮ – материал штуцера.

В датчике МТ100М Ех – тензомодуль, выполненный по технологии кремний на сапфире, припаянный к титановой мембране. Электронный блок выполнен на аналоговых элементах (в предлагаемой модели отсутствует аналого-цифровой преобразователь и микропроцессор, которые вносят миллисекундные задержки на измерения давления и преобразование его в выходной сигнал) с частотой преобразования более 100 кГц.

3.1.2 Устройство и работа датчиков давления МТ100М

Датчик давления МТ100М представляет собой единую конструкцию, состоящую из первичного мембранного тензопреобразователя давления 1 (далее тензопреобразователя) и электронного блока 2 (рис 3.1). Измеряемое давление воздействует непосредственно через мембрану на тензопреобразователь. Электрический сигнал тензопреобразователя передается в электронный блок, в котором он преобразуется в унифицированный токовый выходной сигнал.

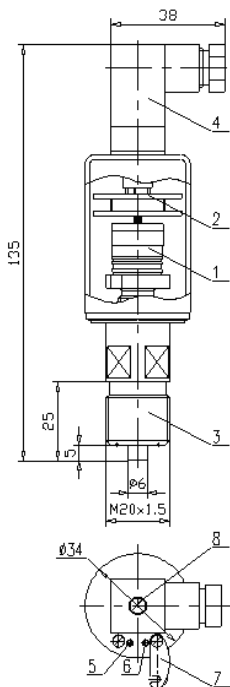


Рис. 3.1 Устройство датчика давления МТ100М

1 – тензопреобразователь;	5 – корректор нуля 0;
2 – электронный блок;	6 – корректор диапазона Δ;
3 – штуцер;	7 – задвижка;
4 – разъем;	8 – винт крепления разъема

Предельно допустимое смещение нуля [Dot] (изменение выходного сигнала при нулевом значении измеряемого параметра) и изменение диапазона выходного сигнала [Dд], вызванные изменением температуры окружающего воздуха от $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ до любой температуры в рабочем диапазоне температур не превышают каждое в отдельности $\pm 0,2\%$; диапазона измерений на каждые 10°C изме-

нения температуры.

Провода соединительного кабеля подводятся к 1 и 2 клеммам разъема 4. Датчики имеют подстроечные резисторы – корректор нуля и корректор диапазона (рис. 3.1).

3.2 Обоснование и выбор индикаторного устройства

Индикаторное устройство должно обеспечивать визуализацию сигнала, полученного с датчика. Общая погрешность средства измерения не должна превышать погрешность, установленную в задании КР.

Исходя из требований задания и характеристик датчика выбираем в качестве индикаторного устройства преобразователь аналоговых сигналов ИТП-10 (рис. 3.2).



Рис. 3.2 Преобразователь аналоговых сигналов измерительный универсальный ИТП-10

Преобразователь аналоговых сигналов измерительный универсальный ИТП-10 предназначен для измерения и индикации физической величины (в частности давления), преобразованной в унифицированный сигнал постоянного тока 4-20 мА, в соответствии с ГОСТ 26.011-80.

В составе с преобразователем давления ОВЕН ПД100 индикатор предоставляет возможность корректировки «нуля» преобразователя.

Прибор позволяет осуществлять следующие функции:

- измерять унифицированный двухпроводный токовый сигнал 4-20 мА;
- индцировать измеренное значение в заданном диапазоне;
- выбирать размерность индицируемого параметра (% , кгс/см², кПа, МПа), размерность подсвечивается соответствующим светодиодом;
- изменять параметры конфигурации: диапазон измерений, количество знаков после запятой и т.д.;
- устанавливать зависимость измеряемой величины от входного сигнала: линейную или корнеизвлекающую;
- устанавливать функцию демпфирования колебаний входного сигнала;

- корректировать показания прибора и выходной сигнал подключенного датчика ОВЕН ПД100 посредством установки «нуля»;

- устанавливать пароль для предотвращения несанкционированного доступа к настройкам изделия.

3.2.1 Технические характеристики прибора:

Таблица 3.1 - Технические характеристики ИТП-10

Наименование	Значение
Питание	двухпроводная токовая петля 4-20мА (падение напряжения не более 7 В)
Диапазон преобразования и индикации входного сигнала, мА	от 3,8 до 22,5
Диапазон входного сигнала, обеспечивающий нормальное функционирование изделия, мА	от 3,2 до 25
Пределы основной приведенной погрешности индикации, % где N – единица последнего разряда, выраженная в процентах от диапазона измерений	$\pm(0,2+N)$
Время установления показаний (при отключенном демпфировании), с, не более	10
Время установления рабочего режима (после подачи питания), мин, не более	15
Степень защиты корпуса	IP65
Габаритные размеры прибора, мм	$(80 \times 52 \times 49) \pm 1$
Масса прибора, кг, не более	0,1
Средний срок службы, лет	0,8

3.2.2 Условия эксплуатации прибора

По устойчивости к механическим воздействиям при эксплуатации прибор соответствует группе исполнения V2 по ГОСТ Р 52931-2008.

По устойчивости к климатическим воздействиям при эксплуатации прибор соответствует группе исполнения С4 по ГОСТ Р 52931-2008.

При этом прибор эксплуатируется при следующих условиях:

- закрытые взрывобезопасные помещения без агрессивных паров и газов;
- температура окружающего воздуха от -40 до +80 °С;
- верхний предел относительной влажности воздуха – не более 80 % при +35 °С и более низких температурах без конденсации влаги;
- атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа.

3.2.3 Принцип действия прибора

Прибор содержит аналого-цифровой преобразователь (АЦП) для оцифровки измеренного сигнала в токовой петле. Оцифрованный сигнал

поступает в микроконтроллер (МК), где осуществляется цифровая фильтрация сигнала, а также коррекция, масштабирование и вычисление квадратного корня (при необходимости). Полученное значение сигнала выводится на цифровой индикатор.

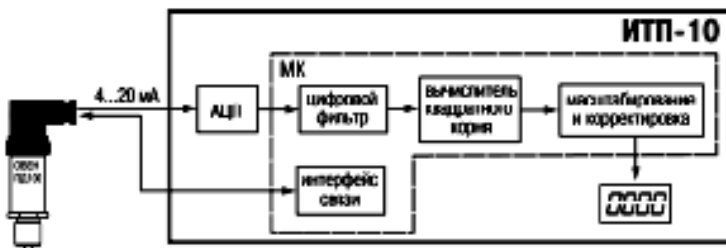


Рис 3.3 Структурная схема ИТП-10

4 ИСТОЧНИКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

4.1 Источники погрешностей

Источниками погрешностей могут быть:

- влияние сопротивления изоляции;
- паразитные электрические напряжения;
- термо-ЭДС (на соединении различных материалов);
- плохое закрепление тензорезистора на объекте измерения.

Погрешности за счет соединительной линии:

- температурная зависимость сопротивления проводов (изменение температуры воздействует на дрейф нуля моста и изменение коэффициента чувствительности);

- сопротивление изоляции между проводами и экранной оплеткой (сопротивление изоляции между наклеенным тензорезистором и металлической поверхностью объекта измерения зависит от связующего или подложки, свойств клея, толщины слоя и влажности окружающей среды;

- емкость кабелей.

4.2 Подготовка к работе и эксплуатация датчиков давления МТ100М

Рабочее положение датчика давления при измерении давления газа - штуцером вниз или вбок, в остальных случаях установку датчиков осуществляют в любом положении, удобном для его эксплуатации.

Датчик может устанавливаться непосредственно на штуцере или стойке, трубе, траверсе, щите или другой монтажной конструкции.

Перед монтажом датчик следует при необходимости откорректировать диапазон выходного сигнала. Для обеспечения доступа к органам регулировки нуля и диапазона необходимо ослабить винт задвижки и выдвинуть задвижку (рис. 3.1). После корректировки выходного сигнала привести задвижку в исходное положение.

Подсоединение линии связи к датчику осуществляется винтами клемм разъема. Для доступа к клеммам разъема необходимо вывернуть винт 8 (см. рис. 3.1), свести лепестки внутреннего замка разъема к центру и снять крышку разъема. После подсоединения линий связи привести разъем датчика в исходное положение.

При эксплуатации датчиков давления МТ100М в диапазоне минусовых температур необходимо исключить накопление и замерзание конденсата в шту-

цах и внутри соединительных трубок (при измерении параметров газообразных сред) или замерзание, кристаллизацию среды или выкристаллизовывание из нее отдельных компонентов (при измерении параметров жидких сред). С этой целью рекомендуется предусмотреть электрический или паровой обогрев датчиков давления и соединительных трубок.

При эксплуатации датчики давления МТ100М должны подвергаться систематическому внешнему осмотру, обращая внимание на отсутствие обрыва или повреждения изоляции соединительного кабеля.

Для датчиков давления - разрежения в случае возникновения перегрузки после ее воздействия подать и сбросить давление перегрузки противоположного знака, после чего произвести установку нуля.

4.3 Измерение параметров, регулирование и настройка датчиков давления МТ100М

Измерение параметров датчика давления проводится по методикам, изложенным в МИ 1997-89, но с подключением внешних цепей к клеммам 1-2 датчика.

Настройку датчика давления необходимо производить следующим образом:

- установить датчик давления в рабочее положение;
- собрать схему включения датчика, указанную в МИ 1997-89, с учетом поправки по п. 6.1;
- включить питание и выдержать датчик во включенном состоянии не менее 30 минут;
- установить с помощью корректора нуля значение выходного сигнала, соответствующее нижнему предельному значению измеряемого давления;
- подать измеряемое давление, равное верхнему пределу выбранного диапазона измерений, и с помощью корректора диапазона установить соответствующее значение выходного сигнала;
- снять давление, отключить питание.

4.4 Методика поверки

Датчики давления должны подвергаться первичной и периодической поверке.

Поверка производится по Рекомендации МИ 1997-89, но с подключением к клеммам 1-2 датчика.

Межповерочный интервал устанавливается потребителем, но не реже одного раза в два года для датчиков давления с пределами допускаемой основной

погрешности $\pm 0,25$ % и не реже одного раза в три года для датчиков с пределами допускаемой основной погрешности $\pm 0,5$ %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной контрольной работе был проведен обзор существующих методов измерения давления и их сравнительный анализ. Был подробно рассмотрен физический принцип тензорезистивного метода преобразования давления. На основании изложенного можно установить, что тензорезистивные датчики обладают целым рядом преимуществ по сравнению с другими датчиками. К их достоинствам относятся:

- 1) высокая степень защиты от агрессивной среды;
- 2) высокий предел рабочей температуры;
- 3) налаженное серийное производство;
- 4) низкая стоимость.

К недостаткам тензорезистивных датчиков следует отнести:

- 1) неустранимую нестабильность градуировочной характеристики;
- 2) высокие гистерезисные эффекты от давления и температуры.

Произведен выбор датчика и индикаторного устройства, которые в полной мере соответствуют требованиям, предъявляемым в задании на курсовую работу.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуртовцев А.Л. Измерение давления в автоматизированных системах // Современные технологии автоматизации. – 2001. №4. – С. 76-89.
2. Абрамов А.А. Тензометрические датчики // Электроника. – 2008. –№2. – С. 34 – 35.
3. Левшина Е.С. Электрические измерения физических величин / Е.С. Левшина. – М.: Мир, 1983. – 105 с.
4. Бриндли К. Измерительные преобразователи / К. Бриндли. – М. 1991. – 353 с.
5. Виглеб Г. Датчики. Устройство и применение / Г. Виглеб. – М.: Мир, 1989. –100 с.
6. Конторльно-измерительные приборы и автоматика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.kip.su

Тема контрольной работы выбирается согласно двум последним цифрам зачетной книжки исходя из таблицы:

№ вар.	Тема контрольной работы
01	Определение частоты вращения электродвигателя
02	Определение температуры электродвигателя
03	Определение влажности животноводческих помещений
04	Определение уровня пасты или сока в резервуаре
05	Определение температуры сока
06	Определение уровня молока в резервуаре
07	Определение уровня вибрации в тракторе
08	Определение температуры молока при пастеризации
09	Определение температуры продукта в процессе приготовления
10	Определение влажности воздуха в административном здании
11	Определение температуры производственных помещений
12	Определение температуры плодов и ягод
13	Определение массы грубых кормов
14	Определение температуры силоса
15	Определение влажности грубых кормов
16	Определение уровня зерна
17	Определение массы крупы при расфасовке
18	Определение температуры зерна в элеваторе
19	Определение влажности древесины
20	Определение уровня плодов картофеля
21	Определение температуры в трансмиссии трактора
22	Определение массы молока при расфасовке
23	Определение количества тепла, потребляемого зданием
24	Определение температуры в морозильной камере
25	Определение скорости вращения детали
26	Определение уровня воды в цистерне
27	Определение давления в холодильной установке
28	Определение расхода холодной воды
29	Определение уровня сока в емкости
30	Определение температуры молока при охлаждении
31	Определение давления в вакуумной печи
32	Определение количества тепла, потребляемого животноводческим помещением
33	Определение температуры оборудования в трансформаторной подстанции

№ вар.	Тема контрольной работы
34	Определение количества топлива в резервуаре
35	Определение массы зерна
36	Определение уровня воды в водоёме
37	Определение уровня зерна
38	Определение веса автомобилей
39	Определение скорости движения воздуха в животноводческом помещении
40	Определение температуры плавления чугуна
41	Определение температуры в овощехранилище
42	Определение массы плодов или ягод
43	Определение влажности зерна
44	Определение места повреждения кабельной линии
45	Определение сопротивления электронных компонентов
46	Определение емкости электронных компонентов
47	Определение индуктивности электронных компонентов
48	Определение жирности молока (отсчет цифровой)
49	Определение давления в системе охлаждения
50	Определение влажности почвы
51	Определение частоты вращения электродвигателя
52	Определение температуры электродвигателя
53	Определение влажности животноводческих помещений
54	Определение уровня пасты или сока в резервуаре
55	Определение температуры сока
56	Определение уровня молока в резервуаре
57	Определение уровня вибрации в тракторе
58	Определение температуры молока при пастеризации
59	Определение температуры продукта в процессе приготовления
60	Определение влажности воздуха в административном здании
61	Определение температуры производственных помещений
62	Определение температуры плодов и ягод
63	Определение массы грубых кормов
64	Определение температуры силоса
65	Определение влажности грубых кормов
66	Определение уровня зерна
67	Определение массы крупы при расфасовке
68	Определение температуры зерна в элеваторе
69	Определение влажности древесины
70	Определение уровня плодов картофеля

№ вар.	Тема контрольной работы
71	Определение температуры в трансмиссии трактора
72	Определение массы молока при расфасовке
73	Определение количества тепла, потребляемого зданием
74	Определение температуры в морозильной камере
75	Определение скорости вращения детали
76	Определение уровня воды в цистерне
77	Определение давления в холодильной установке
78	Определение расхода холодной воды
79	Определение уровня сока в емкости
80	Определение температуры молока при охлаждении
81	Определение давления в вакуумной печи
82	Определение количества тепла, потребляемого животноводческим помещением
83	Определение температуры оборудования в трансформаторной подстанции
84	Определение количества топлива в резервуаре
85	Определение массы зерна
86	Определение уровня воды в водоёме
87	Определение уровня зерна
88	Определение веса автомобилей
89	Определение скорости движения воздуха в животноводческом помещении
90	Определение температуры плавления чугуна
91	Определение температуры в овощехранилище
92	Определение массы плодов или ягод
93	Определение влажности зерна
94	Определение места повреждения кабельной линии
95	Определение сопротивления электронных компонентов
96	Определение емкости электронных компонентов
97	Определение индуктивности электронных компонентов
98	Определение жирности молока (отсчет цифровой)
99	Определение давления в системе охлаждения

Примечание. Допускается самостоятельный выбор темы студентом по согласованию с преподавателем.

Составитель:
Самохвалов Максим Владимирович

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Методические указания по выполнению контрольной и самостоятельной работы

Редактор М.Г. Девищенко
Компьютерная верстка В.Н. Зенина

Подано в печать «__» _____ 2021 г. Формат 60x84 1/16
Объем 3,6 уч.-изд. л., 3,6 усл. печ. л.
Тираж 10 экз. Изд №__ Заказ ____

Отпечатано в Издательском центре НГАУ «Золотой колос»
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, кааб. 106.
Тел./факс (383) 267-09-10. E-mail: 2134539@mail.ru