

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 12.03.04 Биотехнические системы и технологии**

**Наименование образовательной программы: Биотехнические и медицинские аппараты и системы**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Средства съема диагностической информации и подведения лечебных  
воздействий**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Крутских В.В.
	Идентификатор	R49539849-KrutskikhVV-f1575360

(подпись)

В.В.  
Крутских

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Жихарева Г.В.
	Идентификатор	Rdb27a5d8-ZhikharevaGV-9fcbf8c

(подпись)

Г.В.  
Жихарева

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Шалимова Е.В.
	Идентификатор	Rf4bb1f0c-ShalimovaYV-f267ebd6

(подпись)

Е.В.  
Шалимова

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-1 Способен участвовать в научных исследованиях в области создания биотехнических систем

ИД-2 Анализирует сигналы и данные, определяет их влияние на параметры биотехнических систем

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Выступление (доклад)

1. КМ-8 Защита реферата (Реферат)

Форма реализации: Защита задания

1. КМ- 4 Лабораторная работа № 2 (Отчет)

2. КМ-2 Лабораторная работа № 1 (Отчет)

3. КМ-6 Лабораторная работа № 3 (Отчет)

Форма реализации: Компьютерное задание

1. КМ-1 Тест 1. «Основы метрологии и теории погрешностей» (Тестирование)

2. КМ-3 Тест 2. «Биоэлектрические электроды» (Тестирование)

3. КМ-5 Тест 3. «Датчики температуры, давления, скорости и ускорения» (Тестирование)

4. КМ-7 Тест 4. «Датчики расхода, параметров и состава вещества» (Тестирование)

## БРС дисциплины

8 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %								
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
	Срок КМ:	4	5	8	8	11	13	13	14
Место датчиков в измерительной цепи и оценка погрешностей.									
Место датчиков в измерительной цепи и оценка погрешностей.	+	+							
Электроды. Взаимодействие электродов и органических тканей									
Электроды. Взаимодействие электродов и органических тканей			+						
Датчики физических величин часть 1									

Датчики физических величин часть 1				+	+	+	+	+
Датчики физических величин часть 2								
Датчики физических величин часть 2				+	+	+	+	+
Вес КМ:	10	15	15	15	5	15	5	20

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-1	ИД-2ПК-1 Анализирует сигналы и данные, определяет их влияние на параметры биотехнических систем	<p>Знать:</p> <p>физические основы и принципы действия датчиков и электродов и их влияние на измеряемые величины биопотенциалов основы теории погрешностей однократных и многократных измерений номенклатуру, конструкции и принцип действия датчиков, преобразователей и электродов, в том числе и медицинского назначения</p> <p>Уметь:</p> <p>включать датчики в цифровые системы оценивать погрешность измерений; проводить расчет цепей включения в измерительную схему исследовать</p>	<p>КМ-1 Тест 1. «Основы метрологии и теории погрешностей» (Тестирование)</p> <p>КМ-3 Тест 2. «Биоэлектрические электроды» (Тестирование)</p> <p>КМ-2 Лабораторная работа № 1 (Отчет)</p> <p>КМ- 4 Лабораторная работа № 2 (Отчет)</p> <p>КМ-5 Тест 3. «Датчики температуры, давления, скорости и ускорения» (Тестирование)</p> <p>КМ-6 Лабораторная работа № 3 (Отчет)</p> <p>КМ-7 Тест 4. «Датчики расхода, параметров и состава вещества» (Тестирование)</p> <p>КМ-8 Защита реферата (Реферат)</p>

		характеристики датчиков	
--	--	-------------------------	--

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. КМ-1 Тест 1. «Основы метрологии и теории погрешностей»

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Тестирование в системе Прометей

**Краткое содержание задания:**

Тестирование в системе Прометей

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: основы теории погрешностей однократных и многократных измерений</p>	<p>1.С какой целью на выходе моста переменного тока применяют фазовый детектор? -Для повышения соотношения сигнал /шум от преобразователя -Для снижения потерь в цепи -Для увеличения длинны линии передачи</p> <p>2.Какие методы уменьшения погрешностей используются? -метод с отрицательной обратной связью -метод с положительной обратной связью -метод вспомогательных измерений -итерационные методы -метод образцовых мер -метод двойного интегрирования</p> <p>3.Откуда могут проникать высокочастотные электромагнитные помехи в аппаратуру? -Из сети питания -Из окружающей среды -Помехи от аппаратуры находящейся рядом -Верны все перечисленные варианты</p>
<p>Уметь: оценивать погрешность измерений;</p>	<p>1.Вольтметром В7-16 проведено измерение постоянного напряжения <math>U=0.15682</math> В , Запишите результат измерения. При условии, что оно проведено при напряжении сети 200 В и температуре 6 градусов Цельсия. Ответ в формате xx.xxxx+/-x.xxxx D пробел один перед ед. измерения <math>0.1568\pm 0.0012</math> В</p> <p>2.Вольтметром NI DMM-4072 произведено измерение сопротивления <math>R_x=156233,22</math> Ом , запишите результат измерения при нормальных условиях измерений через 90 дней после поверки. Результат</p>

	<p>измерения записать в кОм.          Ответ в формате xx.xxxx+/-x.xxxx D пробел один перед ед. измерения          151+/-10 кОм</p>
<p>Уметь: проводить расчет цепей включения в измерительную схему</p>	<p>1.Для цепи с прямым параметрическим преобразователем собранным по схеме на рисунке. Определить максимальное и минимальное значение отклонения напряжения на выходе преобразователя, для напряжения источника ЭДС <math>E=5\text{ В}</math>, <math>R_0=1\text{ кОм}</math>, <math>R_H=2,54\text{ кОм}</math>, <math>dR=100\text{ Ом}</math>.</p> <p><math>U_{\min}=0.102\text{ В}</math> <math>U_{\max}=0.109\text{ В}</math>  <math>U_{\min}=0.102\text{ В}</math> <math>U_{\max}=0.301\text{ В}</math>  <math>U_{\min}=0.255\text{ В}</math> <math>U_{\max}=0.301\text{ В}</math>  <math>U_{\min}=0.492\text{ В}</math> <math>U_{\max}=0.717\text{ В}</math></p> <p>2.Для цепи с прямым параметрическим преобразователем собранным по схеме на рисунке. Определить максимальное и минимальное значение отклонения напряжения на выходе преобразователя, для напряжения источника ЭДС <math>E=5\text{ В}</math>, <math>R_0=1\text{ кОм}</math>, <math>R_H=2,54\text{ кОм}</math>, <math>dR=250\text{ Ом}</math>.</p> <p><math>U_{\min}= 0.175\text{ В}</math> <math>U_{\max}=0.237\text{ В}</math>  <math>U_{\min}= 0.08\text{ В}</math> <math>U_{\max}=0.09\text{ В}</math>  <math>U_{\min}= 0.189\text{ В}</math> <math>U_{\max}=0.389\text{ В}</math>  <math>U_{\min}= 0.736\text{ В}</math> <math>U_{\max}=0.892\text{ В}</math></p>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

**КМ-2. КМ-2 Лабораторная работа № 1**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Отчет

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Лабораторная работа № 3 (5-6)

Подключение датчиков к микроконтроллерам

**Краткое содержание задания:**

Выполнение работы, подготовка отчета

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основы теории погрешностей однократных и многократных измерений	1. Каков физический принцип функционирования датчиков, использующих эффект Холла? 2. Каков физический принцип функционирования фоторезистора?
Уметь: включать датчики в цифровые системы	1. Как провести подключение датчика ДНТ-11 к микроконтроллеру? 2. Как провести подключение датчика Холла КУ-003 к контроллеру?

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

**КМ-3. КМ-3 Тест 2. «Биоэлектрические электроды»**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Тестирование в системе Прометей

**Краткое содержание задания:**

знание терминологии

умение провести расчет

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: физические основы и принципы действия датчиков и электродов и их влияние на измеряемые величины биопотенциалов	1. Полуэлемент - это 1 электрод 2 электрода 3 электрода соединенные параллельно 3 электрода соединенные последовательно  2. Гидратация катионов металла - это ..... процесс физико-химического взаимодействия растворителя и металла электрода, приводящий к растворению металла в водном растворе и поляризации металла (-) и растворителя (+) процесс физико-химического взаимодействия
---	---

	<p>растворителя и металла электрода, приводящий к растворению металла в водном растворе и поляризации металла (+) и растворителя (-) процесс физико-химического взаимодействия растворителя и металла электрода, приводящий к осаждению на металл солей содержащихся в водном растворе.</p> <p>процесс физико-химического взаимодействия растворителя и металла электрода, приводящий к растворению металла в кислотном растворе</p> <p>3.Считают, что металл растворим, если растворимость превышает 1 г в 100 мл растворителя  растворимость превышает 0,1 г в 100 мл растворителя  растворимость превышает 10 г в 100 мл растворителя</p>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

**КМ-4. КМ- 4 Лабораторная работа № 2**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Отчет

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Лабораторная работа №2 (1-4) Не фронтальная лабораторная работа. За 4 часа исполняются 2 лабораторных работы по разным типам датчиков рассчитанных на 2 часа. Оценивается как среднее между двумя работами.

**Краткое содержание задания:**

Выполнение работы, подготовка отчета

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: номенклатуру, конструкции и принцип действия датчиков, преобразователей и электродов, в том числе и медицинского назначения</p>	<p>1.Объясните принцип построения градуировочной характеристики датчика давления.</p> <p>2.Какой из методов измерения давления емкостным датчиком точнее: непосредственное измерение емкости, измерение напряжения или измерение частоты?</p>
---	---

<p>Уметь: исследовать характеристики датчиков</p>	<p>1. Запишите соотношения и оцените погрешность метода измерения давления через непосредственное измерение емкости. 2. 1. Запишите соотношения для плоского конденсатора. Постройте зависимость изменения емкости от расстояния между пластинами. (диаметр мембраны <math>dm=100\text{мм}</math>, расстояние между пластинами от 0.5 до 3 мм).</p>
---	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

**КМ-5. КМ-5 Тест 3. «Датчики температуры, давления, скорости и ускорения»**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 5

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Тестирование в системе Прометей

**Краткое содержание задания:**

Тестирование в системе Прометей

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: номенклатуру, конструкции и принцип действия датчиков, преобразователей и электродов, в том числе и медицинского назначения</p>	<p>1.Тройная точка воды это - точка на температурной шкале, где присутствует три агрегатных состояния , соответствует 0 градусов Цельсия . точка на температурной шкале, где присутствует три агрегатных состояния , соответствует 100 градусов Цельсия . точка на температурной шкале, где присутствует два агрегатных состояния , соответствует 0 градусов Цельсия .</p>
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка:* 4

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 70

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

### **КМ-6. КМ-6 Лабораторная работа № 3**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Отчет

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Лабораторная работа № 1(1-4)

**Краткое содержание задания:**

Выполнение работы, подготовка отчета

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: номенклатуру, конструкции и принцип действия датчиков, преобразователей и электродов, в том числе и медицинского назначения	1. Какие конструкции термисторов и болометров существуют? 2. Чем ограничена предельная скорость нарастания температуры в термостате? 3. Что характеризует тепловая постоянная времени терморезистора и от чего она зависит?
Уметь: исследовать характеристики датчиков	1. Как экспериментально определить тепловую постоянную времени терморезистора 2. Рассчитайте значения $B$ и $\alpha$ , где $B$ – коэффициент, определяющий форму ГХ термистора.

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* 5

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 90

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка:* 4

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 70

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

### **КМ-7. КМ-7 Тест 4. «Датчики расхода, параметров и состава вещества»**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 5

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Тестирование в системе Прометей

**Краткое содержание задания:**

Тестирование в системе Прометей

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: номенклатуру, конструкции и принцип действия датчиков, преобразователей и электродов, в том числе и медицинского назначения</p>	<p>1. Какие физические принципы используются в датчиках расхода жидкости и газа измерение расхода по перепаду давления подвижные элементы электромагнитные тепловые емкостной эффект Доплера</p> <p>2. При измерениях расхода пр помощи трубки пито-прандтля фактически измеряется разность давлений разность температур давление скорость потока</p> <p>3. Калориметрические термоанемометры - нагревают поток, проходящий через нагреватель, а о расходе судят по разности температур потока до и после нагревателя охлаждают нагреваемый принудительно термоэлемент и по уровню температуры определяют скорость потока</p>
---	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

**КМ-8. КМ-8 Защита реферата**

**Формы реализации:** Выступление (доклад)

**Тип контрольного мероприятия:** Реферат

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Защита реферата докладом

**Краткое содержание задания:**

**ТЕМА:** Современные датчики **XXXXXX**, их принцип действия, схемы включения, погрешности измерения, динамические характеристики, анализ рынка и условия применения.

**XXXXXX** — заменяется на тип датчика., например, механические датчики ускорения, полупроводниковые датчики температуры, тензорезистивные датчики давления и т.д.

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: номенклатуру, конструкции и принцип действия датчиков, преобразователей и электродов, в том числе и медицинского назначения	1.Знание устойчивости , номенклатуры, специфики применения датчиков
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 8 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

### Пример билета

Тестирование в системе Прометей

### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-1 Анализирует сигналы и данные, определяет их влияние на параметры биотехнических систем

#### Вопросы, задания

1.1. Полуэлемент - это

- 1) электрод
- 2) электроды
- 3) электроды, соединенные параллельно
- 4) электроды, соединенные последовательно

2.2. В зависимости от расположения относительно кожного покрова электроды первого рода можно разделить на

кожные  
поверхностные  
внутриканевые  
полостные  
инвазивные  
пиротральные

3.3. Рассчитайте контактную разность потенциалов на границе раздела меди и хрома

- 1,125\*10<sup>18</sup>
- 1,125\*10<sup>18</sup>
- 0,8125\*10<sup>18</sup>
- 0,825\*10<sup>18</sup>

4.4. Электродом второго рода - называют .....

электрод в конструкции, которого предусмотрен проводник второго рода содержащий одноименный анион с материалом покрытия электрода  
электрод в конструкции, которого предусмотрен проводник второго рода содержащий разноименный анион с материалом покрытия электрода  
электрод в конструкции, которого предусмотрен проводник первого рода и не содержащий электролита  
электрод в конструкции, которого предусмотрен полупроводник проводник

5.

5. Для цепи с прямым параметрическим преобразователем собранным по схеме на рисунке. Определить максимальное и минимальное значение отклонения напряжения на выходе преобразователя, для напряжения источника ЭДС  $E=5\text{ В}$ ,  $R_0=1\text{ кОм}$ ,  $R_n=2,54\text{ кОм}$ ,  $dR=100\text{ Ом}$ .

$$U_{\min}=0.102\text{ В } U_{\max}=0.109\text{ В}$$

$$U_{\min}=0.102\text{ В } U_{\max}=0.301\text{ В}$$

$$U_{\min}=0.255\text{ В } U_{\max}=0.301\text{ В}$$

$$U_{\min}=0.492\text{ В } U_{\max}=0.717\text{ В}$$

6.

6. Для цепи с прямым параметрическим преобразователем собранным по схеме на рисунке. Определить максимальное и минимальное значение отклонения напряжения на выходе преобразователя, для напряжения источника ЭДС  $E=5\text{ В}$ ,  $R_0=1\text{ кОм}$ ,  $R_n=2,54\text{ кОм}$ ,  $dR=100\text{ Ом}$ .

$$U_{\min}= 0.08\text{ В } U_{\max}=0.09\text{ В}$$

$$U_{\min}= 0.18\text{ В } U_{\max}=0.19\text{ В}$$

$$U_{\min}= 0.05\text{ В } U_{\max}=0.07\text{ В}$$

$$U_{\min}= 0.108\text{ В } U_{\max}=0.109\text{ В}$$

7.

7. Для цепи с прямым параметрическим преобразователем собранным по схеме на рисунке. Определить максимальное и минимальное значение отклонения напряжения на выходе преобразователя, для напряжения источника ЭДС  $E=5\text{ В}$ ,  $R_0=1\text{ кОм}$ ,  $R_n=2,54\text{ кОм}$ ,  $dR=500\text{ Ом}$ .

$$U_{\min}= 0.285\text{ В } U_{\max}=0.538\text{ В}$$

$$U_{\min}= 0.108\text{ В } U_{\max}=0.205\text{ В}$$

$$U_{\min}= 0.345\text{ В } U_{\max}=0.456\text{ В}$$

$$U_{\min}= 0.914\text{ В } U_{\max}=1.09\text{ В}$$

8.8. Какое условие должно выполняться для наилучшей связи датчика и устройства, если это измерительный преобразователь генераторного типа

$$R_d = R_{вх}$$

$$Z_d = Z_{вх}$$

9.9. Параметрический преобразователь - это

это преобразователь с измерительными цепями с электропитанием.

это преобразователь с измерительными цепями без электропитания

оба ответа верны

10.10. Мост по данной схеме питается -

током

напряжением

питание отсутствует

### 11.11. Преимущества измерительного прибора прямого преобразования

Простота

Максимальное быстродействие

Относительно большая погрешность

Верны все варианты

## Материалы для проверки остаточных знаний

### 1. Принцип действия датчика давления .

Ответы:

Полный исчерпывающий ответ

Верный ответ: Датчик давления состоит из первичного преобразователя давления, в составе которого чувствительный элемент — приемник давления, схемы вторичной обработки сигнала, различных над конструкции корпусных деталей, в том числе для герметичного соединения датчика с объектом и защиты от внешних воздействий и устройства вывода информационного сигнала. Основными отличиями одних приборов от других являются пределы измерений, динамические и частотные диапазоны, точность регистрации давления, допустимые условия эксплуатации, массогабаритные характеристики, которые зависят от принципа преобразования давления в электрический сигнал: тензометрический, пьезорезистивный, ёмкостный, индуктивный, резонансный, ионизационный, пьезоэлектрический и другие.

Тензометрический метод Чувствительные элементы датчиков базируются на принципе изменения сопротивления при деформации тензорезисторов, приклеенных к упругому элементу, который деформируется под действием давления.

Пьезорезистивный метод Основан на интегральных чувствительных элементах из монокристаллического кремния. Кремниевые преобразователи имеют высокую чувствительность благодаря изменению удельного объемного сопротивления полупроводника при деформировании давлением. Для измерения давления чистых неагрессивных сред применяются так называемые Low cost — решения, основанные на использовании чувствительных элементов либо без защиты, либо с защитой силиконовым гелем. 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 посредством кремнийорганической жидкости. Ёмкостный метод "Сердцем" датчика давления является ёмкостная ячейка. Ёмкостный метод основан на зависимости изменения электрической ёмкости между обкладками конденсатора и измерительной мембраны от подаваемого давления. Основным преимуществом ёмкостного метода является защита от перегрузок (изм. мембрана при перегрузке ложится на стенки «обкладки» конденсатора, длительное время не подвергаясь деформации, при снятии перегрузки мембрана восстанавливает исходную форму, при этом дополнительная калибровка сенсора не требуется), также обеспечивается высокая стабильность метрологических характеристик, уменьшение влияния температурной погрешности за счет малого объема заполняющей жидкости непосредственно в ячейке. Резонансный метод В основе метода лежит изменение резонансной частоты колеблющегося упругого элемента при деформировании его силой или давлением. Это и объясняет высокую стабильность датчиков и высокие выходные характеристики прибора. К недостаткам можно отнести индивидуальную характеристику преобразования давления, значительное время отклика, невозможность проводить измерения в агрессивных средах без потери точности показаний прибора. Индуктивный метод Основан на регистрации вихревых токов (токов Фуко). Чувствительный элемент состоит из двух катушек, изолированных между собой металлическим экраном.

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. Ионизационный метод В основе лежит принцип регистрации потока ионизированных частиц. Аналогом являются лампы диоды. Лампа оснащена двумя электродами: катодом и анодом, — а также нагревателем. В некоторых лампах последний отсутствует, что связано с использованием более совершенных материалов для электродов. 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. Зависимость сигнала от давления является логарифмической. Пьезоэлектрический метод В основе лежит прямой пьезоэлектрический эффект, при котором пьезоэлемент генерирует электрический сигнал, пропорциональный действующей на него силе или давлению. Пьезоэлектрические датчики используются для измерения быстроменяющихся акустических и импульсных давлений, обладают широкими динамическими и частотными диапазонами, имеют малую массу и габариты, высокую надежность и могут использоваться в жестких условиях эксплуатации.

## 2. Принцип действия акселерометра.

Верный ответ: Акселерометр (лат. *accele*го — ускоряю и др.-греч. *μετρέω* «измеряю») — прибор, измеряющий проекцию кажущегося ускорения (разности между истинным ускорением объекта и гравитационным ускорением). Как правило, акселерометр представляет собой чувствительную массу, закреплённую в упругом подвесе. Отклонение массы от её первоначального положения при наличии кажущегося ускорения несёт информацию о величине этого ускорения. По конструктивному исполнению акселерометры подразделяются на однокомпонентные, двухкомпонентные, трёхкомпонентные. Соответственно, они позволяют измерять проекции кажущегося ускорения на одну, две и три оси. Некоторые акселерометры также имеют встроенные системы сбора и обработки данных. Это позволяет создавать завершённые системы для измерения ускорения и вибрации со всеми необходимыми элементами. Содержание 1Применение 2Акселерометр в условиях невесомости 3Параметры 4Погрешности 5Примечания 6Ссылки Применение Акселерометр может применяться как для измерения проекций абсолютного линейного ускорения (если известны величина и направление гравитационного ускорения в данной точке пространства), так и для косвенных[1] измерений проекции гравитационного ускорения (при неподвижности акселерометра в гравитационном поле). Первое свойство используется для создания инерциальных навигационных систем, где полученные с помощью акселерометров измерения интегрируют, получая инерциальную скорость и координаты носителя. Таким образом, акселерометры, наравне с гироскопами, являются неотъемлемыми компонентами систем навигации и управления самолётов, ракет и других летательных аппаратов, кораблей и подводных лодок. Второе свойство позволяет использовать акселерометры как для измерения уклонов, то есть в качестве инклинометров, так и в гравиметрии. Акселерометр в промышленной вибродиагностике является вибропреобразователем, измеряющим виброускорение в

системах неразрушающего контроля и защиты. Акселерометры используют в системах управления жестких дисков компьютеров для активации механизма защиты от повреждений (которые могут быть получены в результате ударов и падений): реагируя на внезапное изменение ускорения, система отдаёт команду на остановку головок жесткого диска, что позволяет предотвратить повреждение диска и потерю данных. Такая технология защиты используется в основном в ноутбуках, нетбуках и на внешних накопителях. Акселерометры, встроенные в автомобильные видеорегистраторы, различают тревожные события, такие как резкое торможение, ускорение, столкновение, резкие повороты и вращение. Эти события записываются видеорегистраторами в отдельный файл, помечаются специальным маркером и защищаются от случайного стирания и перезаписи. В устройствах управления игровых приставок акселерометр, совместно с гироскопом [уточнить], используются для управления в играх без использования кнопок — путём поворотов в пространстве, встряхиваний и т. д. Например, акселерометр присутствует в игровых контроллерах Wii Remote и PlayStation Move. Кроме того, цифровые акселерометры нашли широкое применение в мобильных устройствах, например, телефонах, планшетных компьютерах и т. п. Благодаря акселерометрам осуществляется управление положением изображения на мониторе мобильного устройства и отслеживание его ориентации относительно направления гравитационного ускорения Земли [2]. Акселерометр в условиях невесомости В условиях невесомости истинное ускорение объекта вызывается лишь гравитационной силой и потому в точности равно гравитационному ускорению. Таким образом, кажущееся ускорение отсутствует и показания любого акселерометра равны нулю. Все системы, использующие акселерометр как датчик наклона, прекращают функционировать. Например, планшетный компьютер не изменяет положение изображения при перевороте корпуса [3].

Основными параметрами акселерометра являются: Масштабный коэффициент — коэффициент пропорциональности для линейной зависимости между измеряемым кажущимся ускорением и выходным сигналом (электрическим сигналом, частотой колебаний (для струнного акселерометра) или цифровым кодом). Рабочий диапазон частот. Пороговая чувствительность (разрешение) — величина минимального изменения кажущегося ускорения, которое способен определить прибор. Смещение нуля — разность между показаниями прибора и проекцией гравитационного ускорения на ось чувствительности при нулевом кажущемся ускорении. Случайное блуждание — среднеквадратичное отклонение от смещения нуля. Нелинейность — отклонение зависимости между выходным сигналом и кажущимся ускорением от линейной при изменении кажущегося ускорения. Погрешности На величину выходного сигнала акселерометра в основном влияют: температура окружающей среды и места крепления акселерометра (температурные погрешности); внешние магнитные поля (погрешности от магнитного поля); вибрация и угловые колебания основания (вибрационные погрешности); частотные характеристики акселерометра (частотные погрешности); гистерезис показаний (одна из составляющих нелинейности).

### 3. Что такое число Рейнольдса.

Верный ответ: Число Рэйнольдса ( $\mathrm{Re}$ ), — безразмерная величина, характеризующая отношение инерционных сил к силам вязкого трения в вязких жидкостях и газах [1]. Число Рейнольдса также является критерием подобия течения вязкой жидкости. Например, для прямых гладких труб критическое значение критерия Рейнольдса  $\mathrm{Re}_{\text{кр}} \cong 2300$ , а движение жидкости при  $\mathrm{Re} < \mathrm{Re}_{\text{кр}}$

$\text{Re} < \text{Re}_{\text{кр}}$  будет устойчивое ламинарное. Движение при условии  $\text{Re} > \text{Re}_{\text{кр}}$  становится турбулентным (также его называют неустойчивым турбулентным или переходным), а устойчивый турбулентный характер поток жидкости приобретет при  $\text{Re} > 10^4$  [2].

Содержание  
 1 Определение 2 Акустическое число Рейнольдса 3 Физический смысл 4 Примечания 5 Литература

Определение Число Рейнольдса определяется следующими соотношениями:  $\text{Re} = \frac{\rho v D_{\Gamma}}{\eta} = \frac{v D_{\Gamma}}{\nu} = \frac{Q D_{\Gamma}}{\nu A}$ , где  $\rho$  — плотность среды, кг/м<sup>3</sup>;  $v$  — характерная скорость, м/с;  $D_{\Gamma}$  — гидравлический диаметр, м;  $\eta$  — динамическая вязкость среды, Па·с или кг/(м·с);  $\nu$  — кинематическая вязкость среды ( $\nu = \eta / \rho$ ), м<sup>2</sup>/с;  $Q$  — объёмный расход потока, м<sup>3</sup>/с;  $A$  — площадь сечения канала, например, трубы, м<sup>2</sup>. Для каждого вида течения существует критическое число Рейнольдса,  $\text{Re}_{\text{кр}}$ , как принято считать, определяет переход от ламинарного течения к турбулентному. При  $\text{Re} < \text{Re}_{\text{кр}}$  течение происходит в ламинарном режиме, при  $\text{Re} > \text{Re}_{\text{кр}}$  возможно возникновение турбулентности. Критическое значение числа Рейнольдса зависит от конкретного вида течения (например, течение в круглой трубе, обтекание шара и т. п.), различными возмущениями потока, такими как изменение направления и модуля вектора скорости потока, шероховатости стенок, близость местных сужений канала и др. Например, для течения (точнее, для стационарного изотермического потока) жидкости в прямой круглой трубе с очень гладкими стенками  $\text{Re}_{\text{кр}} \approx 2100 \dots 2300$  [3]. При значениях  $\text{Re}$  выше критического и до определённого предела наблюдается переходной (смешанный) режим течения жидкости, когда турбулентное течение более вероятно, но ламинарное в некоторых конкретных случаях тоже наблюдается — так называемая неустойчивая турбулентность. Числу  $\text{Re}_{\text{кр}} > 2300$  в трубах соответствует переходной интервал 2300—10000; для примера с течением в тонких плёнках — интервал от 20—120 до 1600. Для газов  $\text{Re}_{\text{кр}}$  достигается при значительно больших скоростях течения, чем у жидкостей, поскольку у первых существенно больше кинематическая вязкость (в 10—15 раз). Критерий назван в честь выдающегося английского физика Осборна Рейнольдса (1842—1912), автора многочисленных пионерских работ по гидродинамике. Акустическое число Рейнольдса В акустике пользуются числом Рейнольдса для количественной характеристики соотношения нелинейных и диссипативных членов в уравнении, описывающем распространение волны конечной амплитуды [4]. В этом случае число Рейнольдса принимает следующий вид:  $\text{Re}_a = \frac{\rho c_0 V}{\omega b}$ , где  $\rho$  — плотность среды, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  — амплитуда колебательной скорости, м/с;  $\omega$

$\omega$  — круговая частота, рад/с;  $c_0$  — скорость звука в среде, м/с;  $b$  — параметр диссипации. Физический смысл Число Рейнольдса есть мера отношения сил инерции, действующих в потоке, к силам вязкости. Плотность в числителе выражения  $\mathrm{Re} = \frac{\rho v D_{\Gamma}}{\eta} = \frac{v D_{\Gamma}}{\nu}$  характеризует инерцию частиц, претерпевающих ускорение, а величина вязкости в знаменателе характеризует склонность жидкости препятствовать такому ускорению. Также число Рейнольдса можно рассматривать как отношение кинетической энергии жидкости к потерям энергии на характерной длине (ввиду внутреннего трения). Если у потока число Рейнольдса многократно превышает критическое, то жидкость можно рассматривать как идеальную. В таком случае вязкостью жидкости можно пренебречь, так как толщина пограничного слоя мала по сравнению с характерным размером процесса, то есть силы вязкого трения существенны только в тонком слое, в потоке наблюдается развитая турбулентность.

#### 4. Принцип действия ультразвукового расходомера.

Верный ответ: Ультразвуковыми расходомерами называют расходомеры, принцип работы которых основан в прохождении ультразвуковой волны через поток жидкости или газа. Ультразвуковые расходомеры работают в диапазоне частот от 20 кГц до 1000 МГц. Для прохождения волны и её интерпретации необходимы приемник и передатчик, которые обладают пьезоэлектрическим эффектом. Таким эффектом обладают следующие материалы кварц, турмалин, тартрата калия, сульфата лития, титанат бария, цирконат титаната свинца. Помещая пьезоэлектрический кристалл в электрическое поле упругая деформация вызывает уменьшение или увеличение его длины в соответствии с величиной и направлением полярности поля. Ультразвуковой расходомер Для контроля расхода и учёта воды и теплоносителя с 60-х годов прошлого века в промышленности применяются ультразвуковые (акустические) расходомеры. Неоспоримые достоинства ультразвуковых расходомеров: малое или полное отсутствие гидравлического сопротивления, надёжность (так как нет подвижных механических элементов), высокая точность, быстрое действие, помехозащищённость — определили их широкое распространение. Существуют три основные методики определения расхода жидкости при помощи ультразвука: Измерение расхода природного газа в газохранилище ультразвуковыми расходомерами время-импульсный метод (фазового сдвига), доплеровские расходомеры, метод сноса ультразвукового сигнала (корреляционный). Принцип измерения Принцип ультразвукового измерения расхода Принцип действия ультразвуковых расходомеров основан на измерении разницы во времени прохождения сигнала. При этом два ультразвуковых сенсора, расположенные по диагонали напротив друг друга, функционируют попеременно как излучатель и приёмник. Таким образом, акустический сигнал, поочередно генерируемый обоими сенсорами, ускоряется, когда направлен по потоку, и замедляется, когда направлен против потока. Разница во времени, возникающая вследствие прохождения сигнала по измерительному каналу в обоих направлениях, прямо пропорциональна средней скорости потока, на основании которой можно затем рассчитать объёмный расход. А использование нескольких акустических каналов позволяет компенсировать искажения профиля потока. Конструкция ультразвуковых расходомеров Преобразователь ультразвукового расходомера состоит из отрезка трубы, на котором установлены пьезоэлементы. Диаметр пьезоэлемента находится в пределах 5-20 миллиметров, а его толщина выбирается в зависимости от частоты. В частотных и время-импульсных расходомерах для повышения точности измерений используют частоты 5-20 МГц. Обычно в

жидкостях применяются частоты 50 кГц — 2 МГц. В газовых средах необходимо уменьшать частоты до сотен и десятков кГц, это вызвано сложностью создания в газах интенсивных акустических колебаний, особенно высокой частоты.

#### 5. Принцип построения вязкозиметра.

Верный ответ: Вязкозиметр (от позднелат. *viscosus* — вязкий) — прибор для определения динамической или кинематической вязкости вещества. В системе единиц СГС и в СИ динамическая вязкость измеряется соответственно в пуазах (П) и паскаль-секундах (Па·с), кинематическая — соответственно в стоксах (Ст) и квадратных метрах на секунду (м<sup>2</sup>/с). Содержание 1 Разновидности вязкозиметров 1.1 Капиллярные вязкозиметры 1.2 Ротационные вязкозиметры 1.3 Вязкозиметр с движущимся (падающим) шариком 1.4 Вязкозиметр с вибрирующим зондом 1.5 Вязкозиметр пузырькового типа 2 См. также 3 Ссылки Разновидности вязкозиметров Вязкозиметр Энглера для определения условной вязкости Вязкозиметры бывают: капиллярными, ротационными, с падающим шариком и других типов. Капиллярные вязкозиметры Принцип действия основан на подсчёте времени протекания заданного объёма жидкости через узкое отверстие или трубку, при заданной разнице давлений. Чаще всего жидкость из резервуара вытекает под действием собственного веса, в таком случае вязкость пропорциональна разнице давлений между жидкостью, вытекающей из капилляра и жидкостью на том же уровне, вытекающей из очень толстой трубки. Если течение жидкости в приборе осуществляется только под действием тяжести (например, в вязкозиметре Уббеллоде), то при работе капиллярного вязкозиметра определяется кинематическая (не динамическая) вязкость. С помощью капиллярного вязкозиметра измеряются вязкости от 10 мкПа·с (газы) до 10 кПа·с. Используют вязкозиметры по ASTM D 445 (ГОСТ 33). Различают вязкозиметры Оствальда, Убеллоде, Убеллоде с подвешенным уровнем, Вязкозиметры Кэннон-Фенске (Cannon-Fenske) — одни из самых распространенных ввиду простоты и удобства работы. Предназначены для измерения кинематической вязкости прозрачных жидкостей (вязкозиметры Кэннон-Фенске прямого тока) или непрозрачных жидкостей (вязкозиметры Кэннон-Фенске обратного тока). Как правило размеры и константы вязкозиметров прямого и обратного тока совпадают. Ротационные вязкозиметры Измеряют динамическую вязкость. Одно или два коаксиально (соосно) расположенных тела вращения (цилиндры, диск, конус, полусфера). Пространство между ними заполняют исследуемым веществом. При вращении одного из тел (двух относительно друг друга) возникает момент сопротивления деформации жидкости. Существуют два основных метода измерения: измерение момента сопротивления деформации при заданной скорости вращения и измерение скорости вращения тела от приложенного фиксированного крутящего момента. Основная масса приборов использует первый метод. Только ротационные вязкозиметры позволяют измерить истинную или абсолютную вязкость, как ньютоновских, так и неньютоновских (структурированных или реологических) сред. Диапазон измеряемой вязкости обычно простирается от 1 мПа·с до сотен тысяч Па·с. Такой широкий диапазон измерений достижим как за счёт изменения скорости вращения шпинделя от 0,01 оборота в минуту до 1500, так и использования шпинделей разных размеров для разных диапазонов вязкости. Вязкозиметр с движущимся (падающим) шариком Вязкозиметр основан на законе Стокса. Вязкость определяется по времени прохождения шариком некоего расстояния, чаще всего под воздействием его собственного веса. Наиболее известен вязкозиметр Гепплера. Вязкозиметр с вибрирующим зондом Основан на изменении резонансной частоты колебаний в жидкости различной вязкости. Так как частота будет зависеть и от плотности измеряемой жидкости, некоторые модели позволяют определять эту плотность независимо от вязкости, тогда как другие используют заданное известное значение

плотности. Вискозиметр пузырькового типа Основан на определении параметров движения пузырька газа, свободно всплывающего в вязкой среде.

#### 6. Точность датчика температуры.

Верный ответ: Класс точности датчиков температуры Класс точности. Класс точности измерительного прибора — это обобщенная характеристика, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами, влияющими на точность, значения которых установлены в стандартах на отдельные виды средств измерений. Класс точности средств измерений характеризует их свойства в отношении точности, но не является непосредственным показателем точности измерений, выполняемых при помощи этих средств. Для того чтобы заранее оценить погрешность, которую внесет данное средство измерений в результат, пользуются нормированными значениями погрешности. Под ними понимают предельные для данного типа средства измерений погрешности. Погрешности отдельных измерительных приборов данного типа могут быть различными, иметь отличающиеся друг от друга систематические и случайные составляющие, но в целом погрешность данного измерительного прибора не должна превосходить нормированного значения. Границы основной погрешности и коэффициентов влияния заносят в паспорт каждого измерительного прибора. Основные способы нормирования допускаемых погрешностей и обозначения классов точности средств измерений установлены ГОСТ. На шкале измерительного прибора маркируют значение класса точности измерительного прибора в виде числа, указывающего нормированное значение погрешности. Выраженное в процентах, оно может иметь значения 6; 4; 2,5; 1,5; 1,0; 0,5; 0,2; 0,1; 0,05; 0,02; 0,01; 0,005; 0,002; 0,001 и т. д. Если обозначаемое на шкале значение класса точности обведено кружком, например 1,5, это означает, что погрешность чувствительности  $\delta_s = 1,5\%$ . Так нормируют погрешности масштабных преобразователей (делителей напряжения, измерительных шунтов, измерительных трансформаторов тока и напряжения и т. п.). Это означает, что для данного измерительного прибора погрешность чувствительности  $\delta_s = dx/x$  — постоянная величина при любом значении  $x$ . Граница относительной погрешности  $\delta(x)$  постоянна и при любом значении  $x$  просто равна значению  $\delta_s$ , а абсолютная погрешность результата измерений определяется как  $dx = \delta_s x$ . Для таких измерительных приборов всегда указывают границы рабочего диапазона, в которых такая оценка справедлива. Если на шкале измерительного прибора цифра класса точности не подчеркнута, например 0,5, это означает, что прибор нормируется приведенной погрешностью нуля  $\delta_0 = 0,5\%$ . У таких приборов для любых значений  $x$  граница абсолютной погрешности нуля  $dx = \delta_0 = \text{const}$ , а  $\delta_0 = \delta_0/x_n$ . При равномерной или степенной шкале измерительного прибора и нулевой отметке на краю шкалы или вне ее за  $x_n$  принимают верхний предел диапазона измерений. Если нулевая отметка находится посередине шкалы, то  $x_n$  равно протяженности диапазона измерений, например для миллиамперметра со шкалой от -3 до +3 мА,  $x_n = 3 - (-3) = 6$  А. Однако будет грубейшей ошибкой полагать, что амперметр класса точности 0,5 обеспечивает во всем диапазоне измерений погрешность результатов измерений  $\pm 0,5\%$ . Значение погрешности  $\delta_0$  увеличивается обратно пропорционально  $x$ , то есть относительная погрешность  $\delta(x)$  равна классу точности измерительного прибора лишь на последней отметке шкалы (при  $x = x_k$ ). При  $x = 0,1x_k$  она в 10 раз больше класса точности. При приближении  $x$  к нулю  $\delta(x)$  стремится к бесконечности, то есть такими приборами делать измерения в начальной части шкалы недопустимо. На измерительных приборах с резко неравномерной шкалой (например на омметрах) класс точности указывают в долях от длины шкалы и обозначают как 1,5 с обозначением ниже цифр знака "угол". Если обозначение класса точности на шкале измерительного прибора дано в виде дроби

(например 0,02/0,01), это указывает на то, что приведенная погрешность в конце диапазона измерений  $\delta_{\text{прк}} = \pm 0,02 \%$ , а в нуле диапазона  $\delta_{\text{прк}} = -0,01 \%$ . К таким измерительным приборам относятся высокоточные цифровые вольтметры, потенциометры постоянного тока и другие высокоточные приборы. В этом случае  $\delta(x) = \delta_k + \delta_n (x_k/x - 1)$ , где  $x_k$  - верхний предел измерений (конечное значение шкалы прибора),  $x$  — измеряемое значение. Примеры датчиков температуры и их класс точности: 1. Преобразователь измерительный «ТСМУ-05», 0-5 мА, диапазон измерения температуры 0...150 °С, класс точности 0,5 <http://npk-etalon.ru/sredstva-izmereniya-regulirovaniya-temperatury/preobrazovateli-izmeritelnye-s-unificirovannym-tokovym-vyходnym-signalom-tsmu-05-tspu-05-tsmu-420-tspu-420-tsmu-420v-tspu-420v-txau-05-txau-420-txau-420v.html> 2. Преобразователь измерительный ТСПУ-420В, «ТСПУ-420В», 4-20 мА, диапазон измерения 0...500 °С, класс точности 0,25 <http://npk-etalon.ru/sredstva-izmereniya-regulirovaniya-temperatury/preobrazovateli-izmeritelnye-s-unificirovannym-tokovym-vyходnym-signalom-tsmu-05-tspu-05-tsmu-420-tspu-420-tsmu-420v-tspu-420v-txau-05-txau-420-txau-420v.html> 3. Преобразователь измерительный ТПРУ-420, «ТПРУ-420», 4-20 мА, диапазон измерения 800...1600 °С, класс точности 1,5 <http://npk-etalon.ru/sredstva-izmereniya-regulirovaniya-temperatury/preobrazovateli-izmeritelnye-s-unificirovannym-tokovym-vyходnym-signalom-tsmu-05-tspu-05-tsmu-420-tspu-420-tsmu-420v-tspu-420v-txau-05-txau-420-txau-420v.html> 4. ТМТБ– 3 1 Р.1 (0-120 °С) (0–1,6 МПа) класс точности 2,5 <http://www.mano-termo.ru/Table/Produktsiya/Termomanometry/> 5. Датчики температуры Carel NTC диапазон измерения -50...105°С, класс точности 0,5 [http://www.inklimat.ru/catalog/vent/avtomatika/carel/datchiki\\_temperatury\\_carel\\_passivnye/](http://www.inklimat.ru/catalog/vent/avtomatika/carel/datchiki_temperatury_carel_passivnye/)

#### 7.9. Принцип действия расходомера.

Верный ответ: Расходомер — прибор, измеряющий объёмный расход или массовый расход вещества, то есть количество вещества (объём, масса), проходящее через данное сечение потока, например, сечение трубопровода в единицу времени. Если прибор имеет интегрирующее устройство (счётчик) и служит для одновременного измерения и количества вещества, то его называют счётчиком-расходомером. Расходомеры: Медиафайлы на Викискладе Содержание 1Механические счётчики расхода 1.1Скоростные счётчики 1.2Объёмные счётчики 1.2.1Классификация объёмных счетчиков 1.3Ёмкость и секундомер 1.4Ролико-лопастные расходомеры 1.5Шестерёнчатые расходомеры 1.6Расходомеры на базе объёмных гидромашин 2Рычажно-маятниковые расходомеры 3Расходомеры переменного перепада давления 3.1Расходомеры с сужающими устройствами 3.2Трубка Пито 3.3Расходомеры с гидравлическим сопротивлением 3.4Центробежные расходомеры 3.5Расходомеры с напорным устройством 3.6Расходомеры с напорным усилителем 3.7Расходомеры ударно-струйные 4Расходомеры постоянного перепада давления 4.1Ротаметры 5Оптические расходомеры 5.1Лазерные расходомеры 6Ультразвуковые расходомеры 6.1Ультразвуковые время-импульсные 6.2Ультразвуковые фазового сдвига 6.3Ультразвуковые доплеровские 6.4Ультразвуковые корреляционные 7Электромагнитные расходомеры 8Кориолисовы расходомеры 9Вихревые расходомеры 10Тепловые расходомеры 10.1Расходомеры теплового пограничного слоя 10.2Калориметрические расходомеры 11Меточные расходомеры 12Примечания Механические счётчики расхода Бытовые объёмные счётчики газа Скоростной счётчик — турбинка Скоростные счётчики Скоростные счётчики устроены таким образом, что жидкость, протекающая через камеру прибора, приводит во вращение вертушку или крыльчатку, угловая скорость которых пропорциональна скорости потока, а следовательно, и расходу. Объёмные счётчики Поступающая в прибор жидкость или газ измеряется отдельными, равными по объёму дозами, которые затем

суммируются. Счётчики газа на этом принципе часто встречаются в быту. Классификация объёмных счетчиков В зависимости от конструктивных особенностей рабочего органа: поршневые, шестеренные. В зависимости от вида движения рабочего органа: поступательного движения, вращательно-ротационного движения, прецессионного, планетарного движения. В зависимости и от конструкции и от вида движения рабочего органа классифицируются на: поршневые (кольцевые) с планетарным движением кольцевого поршня; шестеренные (круглые) с ротационным вращением круглых шестерен; шестеренные (овальные) с ротационным вращением овальных шестерен; лопастные (камерные) с ротационным вращением лопастей, выполненных в виде камер; лопастные (пластинчатые) с ротационным вращением пластинчатых лопастей[1]. Ёмкость и секундомер Возможно, самый простой способ измерить расход — это использовать некоторую ёмкость и секундомер. Поток жидкости направляется в некоторую ёмкость, и по секундомеру засекается время заполнения этой ёмкости. Зная объём ёмкости и поделив его на время заполнения, можно узнать расход жидкости. Этот способ подразумевает прерывание нормального течения потока, однако может давать непревзойдённую точность измерения. Широко используется в тестовых и поверочных лабораториях. Ролико-лопастные расходомеры Область применения ролико-лопастных расходомеров очень широка: измерение расходов на испытательных стендах, в гидроприводах станков и технологического оборудования, на стационарных и передвижных бензо- и маслосмазочных станциях, в топливных системах карбюраторных и дизельных двигателей автомобилей, тракторов, строительно-дорожных, сельскохозяйственных, лесозаготовительных машин, тепловозов и судов, как дозаторы при заливке танкеров, ж/д цистерн, резервуаров. Расходомер оснащен встроенным электронным датчиком и программируемым микропроцессорным прибором с жидкокристаллическим дисплеем. Электроника расходомера имеет автономное питание на 3 - 5 лет и герметизированный выход на вторичный электронный прибор или компьютер, управляющий механизмами дозирования. Для метрологического применения или при необходимости проведения высокоточных измерений в технологических процессах, расходомер оснащен датчиком с высокой разрешающей способностью (до долей см<sup>3</sup>). Шестерёнчатые расходомеры Шестерёнчатый расходомер Впервые расходомер с овальными шестернями был изобретен компанией Ворт & Реутер (Германия) в 1932 году. Измеряющий элемент состоит из двух шестерёнок овальной формы. Протекающая жидкость вращает данные шестерёнки. При каждом обороте пары овальных колес через прибор проходит строго определённое количество жидкости. Считывая количество оборотов, можно точно определить, какой объём жидкости протекает через прибор. Данные расходомеры отличаются высокой точностью, надёжностью и простотой, что позволяет их использовать для жидкостей с высокой температурой и под большим давлением. Отличительной особенностью расходомеров с овальными шестернями является возможность использования для жидкостей с высокой вязкостью (мазут, битум). Расходомеры на базе объёмных гидромашин В системах объёмного гидропривода для измерения объёмного расхода рабочей жидкости применяют объёмные гидромашин (как правило — шестерённые или аксиально-плунжерные гидромашин). Объёмная гидромашин в этом случае работает как гидродвигатель, но без нагрузки на валу. Тогда объёмный расход через гидромашин можно определить по формуле: 
$$Q = q_0 \cdot n,$$
 где  $Q$  — объёмный расход,  $q_0$  — рабочий объём гидромашин (определяется по паспорту гидромашин),  $n$  — частота вращения выходного вала гидромашин, которую можно измерить тахометром. Заметим, что объёмная гидромашин пропускает через себя весь расход жидкости, что для объёмного

гидропривода не представляет сложности ввиду малых расходов. Рычажно-маятниковые расходомеры Основная статья: Рычажно-маятниковый расходомер Расходомеры переменного перепада давления Расходомеры переменного перепада давления основаны на зависимости разницы давлений, создаваемых конструкцией расходомера, от расхода. Расходомеры с сужающими устройствами Они основаны на зависимости перепада давления на сужающем устройстве от скорости потока, в результате которого происходит преобразование части кинетической энергии потока в потенциальную. Принцип действия расходомеров этого типа основан на эффекте Вентури. Вентури-расходомер сужает поток жидкости в некотором устройстве, например, диафрагмой и датчиками давления или дифманометром измеряет разницу давлений перед указанным устройством и непосредственно в месте сужения. Этот метод измерения расхода широко используется при транспортировке газов по трубопроводам и использовался ещё во времена Римской империи. Диафрагма представляет собой диск со сквозным отверстием, вставленный в поток. Дисковая диафрагма сужает поток, и разница давлений, измеряемая перед и за диафрагмой, позволяет определить расход в потоке. Этот тип расходомера можно грубо считать одной из форм Вентури-метров, однако имеющую более высокие потери энергии. Существует три типа дисковых диафрагм: концентрические, эксцентриковые и сегментальные[2][3]. Трубка Пито Расходомеры на основе трубки Пито измеряют динамическое давление 
$$p_{\partial} \approx \xi \frac{\rho V_o^2}{2}$$
 
$$p_{\partial} \approx \xi \frac{\rho V_o^2}{2}$$
 в застойной зоне потока (англ.). Зная динамическое давление, с помощью уравнения Бернулли можно определить скорость потока, а значит, и объёмный расход ( $Q = S * V$ , где  $S$  — площадь поперечного сечения потока,  $V$  — средняя скорость потока). Расходомеры с гидравлическим сопротивлением Принцип действия гидродинамических расходомеров основан на измерении давления движущей среды, т.е. давления, которое действует на помещенное в поток тело. Достоинствами гидродинамических расходомеров являются: конструктивная простота, надежность и удобство обслуживания. Одним из распространенных вариантов применения является их использование в качестве индикаторов расхода загрязнения жидкостей и газов. Центробежные расходомеры Центробежные расходомеры представляют собой колесо на трубопроводе, которые охватывают его по всей окружности трубопровода. Отборы давления находятся в верхней части на внешней и внутренней стенках. Принцип действия центробежных расходомеров основан на том, что при движении среды по криволинейному участку трубопровода появляются центробежные силы, создающие перепад давлений между точками с разными радиусами кривизны. Согласно этому следует, что где больше кривизна, там и центробежная сила больше и больше давление на стенку[1]. Расходомеры с напорным устройством Расходомеры с напорным усилителем Расходомеры ударно-струйные

#### 8. Что такое критерий Нульсена.

Верный ответ: Число Нуссельта (
$$\mathrm{Nu}$$
) — один из основных критериев подобия тепловых процессов, характеризующий соотношение между интенсивностью теплообмена за счёт конвекции и интенсивностью теплообмена за счёт теплопроводности (в условиях неподвижной среды). Названо в честь немецкого инженера Вильгельма Нуссельта. 
$$\mathrm{Nu}_1 = \frac{a l}{\lambda} = \frac{q_c}{q_\lambda}$$
 где:  $l$  — характерный размер;  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности среды;  $a$  — коэффициент теплоотдачи;  $q_c$  — тепловой поток за счёт конвекции;  $q_\lambda$  — тепловой поток за счёт теплопроводности.

Содержание 1 Характерные значения 2 Эмпирические зависимости 2.1 Свободная конвекция на вертикальной пластине 2.2 Свободная конвекция на горизонтальной пластине 2.3 Теплоотдача при вынужденной конвекции в трубах 3 См. также 4 Примечания

Характерные значения Число Нуссельта всегда больше или равно 1. То есть тепловой поток за счёт конвекции всегда превышает по своей величине тепловой поток за счёт теплопроводности [источник не указан 1347 дней]. Обычно для ламинарных течений число Нуссельта находится в диапазоне от 1 до 20. Большие числа Нуссельта (>100) свидетельствуют о сильном конвективном тепловом потоке, что является характеристикой турбулентных течений. Для течений жидкости в круглых трубах можно показать, что для установившегося ламинарного течения  $\mathrm{Nu} = 4,36$  (при условии, что тепловой поток в стенку постоянен) и  $\mathrm{Nu} = 3,66$  (при условии, что постоянна температура стенки).[2]

Эмпирические зависимости Ссылки на источники В разделе не хватает ссылок на источники. Информация должна быть проверяема, иначе она может быть удалена. Вы можете отредактировать статью, добавив ссылки на авторитетные источники. Эта отметка установлена 12 мая 2011 года.

Свободная конвекция на вертикальной пластине  $\mathrm{Nu}_L = 0,68 + \frac{0,67 \mathrm{Ra}_L^{1/4}}{[1 + (0,492 / \mathrm{Pr})^{9/16}]^{4/9}}$ ,  $\mathrm{Ra}_L \leq 10^9$ ,  $\mathrm{Nu}_L = 0,68 + \frac{0,67 \mathrm{Ra}_L^{1/4}}{[1 + (0,492 / \mathrm{Pr})^{9/16}]^{4/9}}$ ,  $\mathrm{Ra}_L \leq 10^9$ , [3] где  $\mathrm{Ra}_x = \mathrm{Gr}_x \mathrm{Pr}$  — число Рэлея. Свободная конвекция на горизонтальной пластине Если характерную длину определить как:  $L = \frac{S}{P}$ , где  $S$  — площадь пластины, и  $P$  — её периметр. Тогда для ориентированной вверх горячей поверхности в холодной среде или для ориентированной вниз холодной поверхности в горячей среде: [3]  $\mathrm{Nu}_L = 0,54 \mathrm{Ra}_L^{1/4}$ ,  $10^4 \leq \mathrm{Ra}_L \leq 10^7$ ;  $\mathrm{Nu}_L = 0,54 \mathrm{Ra}_L^{1/4}$ ,  $10^4 \leq \mathrm{Ra}_L \leq 10^7$ ;  $\mathrm{Nu}_L = 0,15 \mathrm{Ra}_L^{1/3}$ ,  $10^7 \leq \mathrm{Ra}_L \leq 10^{11}$ ;  $\mathrm{Nu}_L = 0,15 \mathrm{Ra}_L^{1/3}$ ,  $10^7 \leq \mathrm{Ra}_L \leq 10^{11}$ . Для ориентированной вниз горячей поверхности в холодной среде или для ориентированной вверх холодной поверхности в горячей среде:  $\mathrm{Nu}_L = 0,27 \mathrm{Ra}_L^{1/4}$ ,  $10^5 \leq \mathrm{Ra}_L \leq 10^{10}$ ;  $\mathrm{Nu}_L = 0,27 \mathrm{Ra}_L^{1/4}$ ,  $10^5 \leq \mathrm{Ra}_L \leq 10^{10}$ . Теплоотдача при вынужденной конвекции в трубах  $\mathrm{Nu}_D = 0,023 \mathrm{Re}_D^{4/5} \mathrm{Pr}^n$ ,  $\mathrm{Nu}_D = 0,023 \mathrm{Re}_D^{4/5} \mathrm{Pr}^n$ , где:  $\mathrm{Re}$  — число Рейнольдса;  $D$  — характерный размер;  $\mathrm{Pr}$  — Число Прандтля;  $n = 0,4$  в условиях нагрева жидкости и  $n = 0,3$  в условиях охлаждения жидкости.[3]

## 9.Тройная точка вещества – это...

Верный ответ: В термодинамике , то тройная точка вещества является температура и давление , при котором три фазы ( газа , жидкости и твердого вещества ) этого вещества сосуществуют в термодинамическом равновесии . Это та температура и

давление, при которых пересекаются кривая сублимации, кривая плавления и кривая испарения. Например, тройная точка ртути происходит при температуре  $-38.83440^{\circ}\text{C}$  ( $-37.90192^{\circ}\text{F}$ ) и давлении  $0,165\text{ мПа}$ . В дополнение к тройной точке для твердой, жидкой и газовой фаз тройная точка может включать более одной твердой фазы для веществ с несколькими полиморфными модификациями. Гелий-4 - это особый случай, который представляет тройную точку, включающую две разные жидкие фазы (лямбда-точку). Тройная точка воды использовалась для определения кельвина, базовой единицы термодинамической температуры в Международной системе единиц (СИ). Значение тройной точки воды было фиксированным по определению, а не измеренным, но это изменилось с переопределением базовых единиц СИ в 2019 году. Тройные точки нескольких веществ используются для определения точек по международной температурной шкале ITS-90, в диапазоне от тройной точки водорода ( $13,8033\text{ К}$ ) до тройной точки воды ( $273,16\text{ К}$ ,  $0,01^{\circ}\text{C}$  или  $32,018^{\circ}\text{F}$ ). Термин «тройная точка» был придуман в 1873 году Джеймсом Томсоном, братом лорда Кельвина.

**СОДЕРЖАНИЕ**

- 1 тройная точка воды
- 1.1 Тройная точка газ – жидкость – твердое тело
- 1.2 Фазы высокого давления
- 2 ячейки тройной точки
- 3 Таблица тройных точек
- 4 См. Также
- 5 ссылки
- 6 Внешние ссылки

Тройная точка воды Тройная точка газ – жидкость – твердое тело Смотрите также: Свойства воды § Тройная точка Типовая фазовая диаграмма. Сплошная зеленая линия относится к большинству веществ; пунктирная зеленая линия показывает аномальное поведение воды Единственная комбинация давления и температуры, при которой жидкая вода, твердый лед и водяной пар могут сосуществовать в устойчивом равновесии, происходит точно при  $273,1600\text{ К}$  ( $0,0100^{\circ}\text{C}$ ;  $32,0180^{\circ}\text{F}$ ) и парциальном давлении пара  $611,657\text{ паскалей}$  ( $6,11657\text{ мбар}$ ;  $0,00603659\text{ атм}$ ). В этот момент можно превратить все вещество в лед, воду или пар, сделав сколь угодно малые изменения давления и температуры. Даже если общее давление системы значительно выше тройной точки воды, при условии, что парциальное давление паров воды составляет  $611.657\text{ паскаля}$ , то система может все еще быть доведена до тройной точки воды. Строго говоря, поверхности, разделяющие разные фазы, также должны быть идеально плоскими, чтобы свести на нет эффекты поверхностного натяжения. Тройная точка воды газ – жидкость – твердое тело соответствует минимальному давлению, при котором может существовать жидкая вода. При давлениях ниже тройной точки (как в космосе) твердый лед при нагревании при постоянном давлении превращается непосредственно в водяной пар в процессе, известном как сублимация. Выше тройной точки твердый лед при нагревании при постоянном давлении сначала тает с образованием жидкой воды, а затем испаряется или кипит с образованием пара при более высокой температуре. Для большинства веществ тройная точка газ – жидкость – твердое тело также является минимальной температурой, при которой может существовать жидкость. Однако для воды это неверно, потому что температура плавления обычного льда уменьшается в зависимости от давления, как показано пунктирной зеленой линией на фазовой диаграмме. При температурах чуть ниже тройной точки сжатие при постоянной температуре превращает водяной пар сначала в твердый, а затем в жидкий (водяной лед имеет меньшую плотность, чем жидкая вода, поэтому повышение давления приводит к сжижению). Давление воды в тройной точке использовалось во время миссии Mariner 9 на Марс в качестве ориентира для определения «уровня моря». Более поздние миссии используют лазерную альтиметрию и измерения силы тяжести вместо давления для определения высоты на Марсе. Кипячение воды при  $0^{\circ}\text{C}$  с помощью вакуумного насоса. Фазы высокого давления При высоких давлениях вода имеет сложную фазовую диаграмму с 15 известными фазами льда и несколькими тройными точками, в том числе 10, координаты которых показаны на диаграмме. Например, тройная точка при  $251\text{ К}$  ( $-22^{\circ}\text{C}$ ) и  $210\text{ МПа}$  ( $2070\text{ атм}$ )

соответствует условиям сосуществования льда Ih (обычный лед), льда III и жидкой воды, причем все они находятся в равновесии. Также существуют тройные точки сосуществования трех твердых фаз, например льда II, льда V и льда VI при 218 К (-55 °С) и 620 МПа (6120 атм). Диаграмма показывает, что для тех форм льда, которые находятся под высоким давлением и которые могут находиться в равновесии с жидкостью, температура плавления увеличивается с увеличением давления. При температурах выше 273 К (0 °С) увеличение давления водяного пара приводит сначала к жидкой воде, а затем к форме льда под высоким давлением. В диапазоне При температуре 251–273 К сначала образуется лед I, затем жидкая вода, затем лед III или лед V, а затем другие, еще более плотные, формы под высоким давлением. Фазовая диаграмма воды с учетом высокого давления образует лед II, лед III и т. д. Ось давления - логарифмическая. Для подробного описания этих фаз см. Лед. Различные тройные точки воды

Фазы в стабильном равновесии	Давление	Температура
жидкая вода, лед Ih и водяной пар	611,657 Па	273,16 К (0,01 °С)
жидкая вода, лед Ih и лед III	209,9 МПа	251 К (-22 °С)
жидкая вода, лед III и лед V	350,1 МПа	-17,0 °С
жидкая вода, лед V и лед VI	632,4 МПа	0,16 °С
лед Ih, лед II и лед III	213 МПа	-35 °С
лед II, лед III и лед V	344 МПа	-24 °С
лед II, лед V и лед VI	626 МПа	-70 °С

Ячейки тройной точки Тройная точка клетка используется в калибровке из термометров. Для выполнения сложных работ ячейки тройной точки обычно заполняются химическим веществом высокой степени чистоты, например водородом, аргоном, ртутью или водой (в зависимости от желаемой температуры). Чистота этих веществ может быть такой, что только одна миллионная часть является загрязняющим веществом, называемым «шесть девяток», потому что его чистота составляет 99,9999%. Когда это ячейка на водной основе, используется особый изотопный состав, называемый VSMOW, потому что вариации в изотопном составе вызывают небольшие изменения в тройной точке. Ячейки тройной точки настолько эффективны при достижении высокоточных и воспроизводимых температур, что международный стандарт калибровки термометров под названием ITS-90 полагается на ячейки тройной точки для водорода, неона, кислорода, аргона, ртути и воды для определения шести из них. определенные температурные точки. Тройная точка - [https://ru.abcdef.wiki/wiki/Triple\\_point](https://ru.abcdef.wiki/wiki/Triple_point)

#### 10. Градуировочная характеристика термопары.

Верный ответ: Градуировочные таблицы для термопар (НСХ) Стандартная зависимость ТЭДС от температуры (которая в терминологии Российских стандартов называется НСХ) определяется экспериментально по результатам измерений в эталонной лаборатории, полученным для большого количества термопар. При переходе на новую международную шкалу зависимость должна быть пересмотрена. В 1992 г. после принятия шкалы МТШ-90 под руководством института НИСТ (National institute of standards and technology)(США), была проведена большая международная работа по определению функции ТЭДС-температура для эталонных термопар типа S, соответствующей новой международной температурной шкале. Работа проводилась в виде сличений термопар и эталонных высокотемпературных платиновых термометров сопротивления. Результаты, представленные разными странами, анализировались и обобщались. Итогом работы стала новая стандартная функция, принятая в настоящее время в международных и национальных стандартах. Исследование опубликовано в двух статьях: NEW REFERENCE FUNCTIONS FOR PLATINUM-10% RHODIUM VERSUS PLATINUM (TYPE S) THERMOCOUPLES BASED ON THE ITS-90. PART I: EXPERIMENTAL PROCEDURES, G.W. Burns, G.F. Strouse, B.W. Magnum, M.C. Croarkin, and W.F. Guthrie, National Institute of Standards and Technology, Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry, 1992. NEW REFERENCE FUNCTIONS FOR PLATINUM-10% RHODIUM VERSUS PLATINUM (TYPE S) THERMOCOUPLES

BASED ON THE ITS-90. PART II: RESULTS AND DISCUSSION, G.W. Burns, G.F. Strouse, B.W. Magnum, M.C. Croarkin, and W.F. Guthrie, National Institute of Standards and Technology, Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry, 1992. НИСТ явился также главным исполнителем по пересмотру таблиц для других типов термопар. основополагающим источником, устанавливающим стандартные зависимости для термопар из благородных и неблагородных металлов, считается монография НИСТ: NIST Monograph 175 "Temperature-Electromotive Force Reference Functions and Tables for the Letter-Designated Thermocouple Types Based on the ITS-90" На нашем сайте мы приводим НСХ термопар прямо из базы данных НИСТ: Тип ТПП (S) Тип ТПП (R) Тип ТПП (B) Тип ТХА (K) Тип ТНН (N) Тип ТМК (T) Тип ТЖК (J) База данных находится в свободном доступе на сайте НИСТ [www.nist.gov](http://www.nist.gov) НСХ для хромель-копелевых и медь-копелевых, которые выпускаются только в России, приведены в ГОСТ Р 8.585-2001 «Государственная система обеспечения единства измерений. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования» (скачать текст (pdf)). В 2013 г. вольфрам-ренийевые термопары типов А и С были включены в новую редакцию стандарта МЭК 60584-1. Скачать таблицы НСХ для вольфрам-ренийевых термопар>> Подробнее о стандартах МЭК см. раздел "Стандарты МЭК". Удобная компьютерная программа TermoLab позволяет производить прямой и обратный расчет температуры по ТЭДС термопары для всех типов термопар. Программа аттестована в ФГУП "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева". Подробно о программе в разделе "Аттестованное программное обеспечение". Термопары из чистых металлов Золото-платиновые и платино-палладиевые термопары являются термопарами повышенной точности и используются в основном в исследовательских лабораториях, а также в системах точного контроля температуры. Для них характерна значительно меньшая термоэлектрическая неоднородность и большая чувствительность по сравнению с платино-родиевыми термопарами. Основой для разработки стандартных функций для термопар стали две публикации НИСТ: 1. Burns G. W., Strouse G. F., Liu B. M., and Mangum B. W., TMCSI, Vol. 6, New York, AIP, 1992, pp. 531-536. 2. Burns G. W., Ripple D. C., Metrologia 1998, 35, pp. 761-780 Стандартные функции и таблицы уже утверждены в стандартах АСТМ и МЭК.(IEC 62460 Temperature - Electromotive force (EMF) tables for pure-element thermocouple combinations.) Приводим таблицы и функции ТЭДС от температуры. Термопары Au/Pt Термопары Pt/Pd Подробнее о термопарах из чистых металлов см. публикацию Н. П. Моисеевой "Перспективы разработки эталонных термопар из чистых металлов" (Измерительная Техника 2004 г № 9, стр. 46-49)

#### 11. Принцип действия кремниевых мембран.

Верный ответ: В прошлом большинство конструкций механических аналоговых датчиков давления представляли собой разновидности одной базовой технологии. Однако с переходом к электронным преобразователям появилась целая группа измерительных технологий. Должны ли вы обращать внимание на конструкцию датчика? Является ли прибор магнитным или емкостным? Происходит ли сжатие тензодатчика или давление прикладывается к кристаллу? Насколько глубоко вы должны разбираться в этом? Для большинства стандартных приложений любая технология вероятней всего справится с поставленной задачей. Однако, если вам необходима по настоящему эффективная работа, или когда речь идет об экстремальных условиях эксплуатации, некоторые датчики работают не так хорошо, как другие. При оценке технологии датчиков давления необходимо рассматривать множество параметров, включая: Точность (погрешность показаний); Линейность (пропорциональность изменения сигнала по отношению к изменению давления); Воспроизводимость (одинаковые показания для одного и того же значения

давления); Емкостные преобразователи Эта технология очень проста механически и подходит для измерения дифференциального, избыточного и абсолютного давления. Внутреннее электронное преобразование монотонно и имеет хорошее отношение сигнал-шум, однако датчик является достаточно чувствительным к температуре, поэтому требуется коррекция выходного сигнала. Емкостные преобразователи — одни из самых точных, но в сравнении с другими технологиями они имеют узкий диапазон рабочей температуры и низкий практический максимальный диапазон давления, хотя оба показателя подходят для большинства применений. Емкостный датчик Мембрана подвергается воздействию измеряемой среды и располагается напротив одной или нескольких неподвижных пластин с зазором. При перемещении мембраны емкость между пластинами изменяется. Мембраны могут быть металлическими или керамическими. Емкостные приборы потребляют относительно небольшой ток, поэтому могут использоваться в беспроводных приложениях с питанием от батареи. Присущая им возможность измерения температуры часто может использоваться для получения дополнительного показателя измеряемого процесса. Гистерезис (приводит к появлению «набора» показаний для одного и того же значения давления); Долговечность (может выдержать много циклов измерения высокого/низкого давления); Стабильность (сохраняет калибровку); Защита от электромагнитных помех (невосприимчивость к локальным радиопомехам); Температурный диапазон (работа при экстремальных значениях температуры измеряемой жидкости/окружающей среды); Вибро- и ударопрочность (устойчивость к вибрации, ударам, скачкам давления и т.д.); Практические границы диапазона (подходящие для измеряемого давления); Диагностика отказов (наглядность при возникновении, возможность прерывания или загрязнения измеряемого потока); Безопасность (наличие сертификата для применения в опасных зонах); Потребление энергии (возможность питания от батареи); Выходной сигнал (формат, аналоговый/ цифровой); Материалы конструкции (диапазон температур, стойкость к коррозии); Масса; Стоимость. Некоторые из этих показателей поддаются измерению и указываются в документации изготовителей, другие определить достаточно трудно. Например, для каждого датчика в каталоге будут указаны точность или температурный диапазон, но стабильность показаний или прочность гораздо сложнее определить в каких-либо цифровых показателях, позволяющих сравнивать различные приборы. Некоторые из этих коэффициентов непосредственно связаны с технологией преобразователя. Другие зависят от электроники, выполняющей обработку сигнала или конструкции корпуса датчика. Практически все электронные технологии работают по принципу измерения перемещения мембраны, вызванного давлением с одной стороны. Датчики дифференциального давления имеют две мембраны или одну, перемещающуюся в обе стороны. Форма и компоновка мембран зависит от производителя, так же как и способы измерения перемещения. Чаще всего используются емкостная, пьезоэлектрическая и тензорезистивная технологии, реже применяются приборы на основе резонансной частоты, электромеханические, магнитные и прочие. Каждая технология имеет свои специфические преимущества и ограничения. Сколько вариантов конструкций? Некоторые компании применяют одну или две технологии, но разрабатывают их достаточно широко. Другие предлагают линейки продуктов, включающие широкий набор технологий. Например, Endress+Hauser производит множество емкостных преобразователей с керамическими мембранами. «Наши керамические мембранные преобразователи Ceraphire обеспечивают очень точное и стабильное измерения давления в тяжелых условиях, — говорит Марк Репко, менеджер по продукции измерения давления. — Они работают эффективно там, где металлические мембраны часто дают сбой, например, в глубоком вакууме при высокой температуре, для измерения давления абразивной суспензии, едких

химикатов и при частых перегрузках по давлению (например, при гидравлическом ударе)». Компания Crystal Engineering разрабатывает все типы заполненных маслом пьезорезистивных датчиков на базе кремниевых кристаллов. Миранда Баттенберг, директор по маркетингу говорит: «Наши измерительные приборы являются цифровыми, следовательно, в них нет подвижных частей, подверженных влиянию вибрации, что делаем для непрерывных производств и нефтеперерабатывающих заводов. Мембрана взаимодействует с силиконовым маслом, и чувствительный элемент воспринимает давление масла без непосредственного взаимодействия с мембраной. Достоинством такого решения является защита чувствительного элемента от повреждения, вызванного химикатами, передающимися по трубопроводу». Компания Yokogawa изменила направление развития и сейчас вместо двух использует одну новую технологию измерения. «В 90-х годах прошлого века Yokogawa разработала уникальный цифровой преобразователь давления, заменяющий дифференциальные емкостные и пьезорезистивные датчики, — сообщает Аллен Эрвин, менеджер по измерительным преобразователям. — И пьезорезистивный и емкостной методы появились в далекие 60-е годы. Цифровой преобразователь, который мы используем в нашей линейке DP, основан на современной технологии измерения давления. Улучшение эксплуатационных характеристик — главная движущая сила большинства инноваций». Используя электронику наряду с традиционными механическими компонентами, компания Ashcroft обеспечивает формирование цифрового сигнала на выходе аналогового пружинного манометра с непосредственным отсчетом. «Собственная конструкция Xmitr основана на преобразовании вихревого тока, — отмечает Марк Забоа, менеджер по измерительным преобразователям давления Ashcroft. — При этом механическое перемещение пружины манометра преобразуется в электрический сигнал. Шток соединен с пружиной и перемещается между двумя катушками, выдавая сигнал, пропорциональный приложенному давлению. Это позволяет пользователю наблюдать показания датчика как локально, по месту установки, так и в удаленной системе управления, используя при этом один датчик». Другие компании используют широкий спектр технологий для того, чтобы приспособить датчик к конкретным условиям. «Компания Honeywell Sensing & Control (S&C) имеет один из самых широких портфелей датчиков давления, — утверждает Ламар Ф. Рикс, общий руководитель группы по измерению давления. — В число технологий, используемых в датчиках давления S&C, входят наклеиваемый тензодатчик, наклеиваемый фольговый датчик давления, кремниевый пьезорезистор, наполненный маслом кремниевый пьезорезистор, тонкопленочный и толстопленочный преобразователи, а также приборы на базе поверхностных акустических волн». Если существует столько различных вариантов, как вы решаете, что именно порекомендовать клиенту? «Возможно, чаще всего в датчиках давления используется кремниевая пьезорезистивная технология с заполнением маслом, — говорит Рикс. — Это очень надежная и устойчивая технология, в которой отсутствует непосредственный контакт измерительной техники со средой, что особенно подходит для использования в тяжелых условиях, и позволяет размещать датчики в корпусах из нержавеющей стали. Толстопленочный тензорезистор — достаточно новая технология, однако уже доказавшая свои уникальные преимущества для применения в ряде приложений, таких как гидравлика. Приборы на основе толстопленочной технологии обеспечивают высокую надежность и среднее время наработки на отказ в условиях динамического изменения давления». Пьезоэлектрические датчики Эта технология очень разнообразна и возможны различные варианты конструкции, поэтому охарактеризовать ее точно не так просто. Диафрагма оказывает давление на кристалл, который или генерирует электрический заряд (пьезоэлектрический эффект) или изменяет сопротивление (пьезорезистивный

эффект) в зависимости от степени отклонения или давления на кристалл. Мембрана может контактировать с кристаллом непосредственно или передавать давление гидравлически через силиконовое масло. Датчики на основе этой технологии имеют различные размеры и конфигурацию. Хотя они не достигают точности емкостных датчиков, эти приборы имеют более широкий диапазон рабочей температуры и измеряемого давления. Мембраны могут быть металлическими или керамическими. Они также чувствительны к температуре и обычно имеют возможность ее измерения с целью последующей корректировки результатов измерений. Часто температура может использоваться в качестве дополнительной переменной процесса.

## ***II. Описание шкалы оценивания***

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

## ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих