

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

**Направление подготовки/специальность: 09.03.01 Информатика и вычислительная техника**

**Наименование образовательной программы: Вычислительно-измерительные системы**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Измерение расхода жидкостей и газов**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Глушнев В. Д.
	Идентификатор	R12c6ffb5-GlushnevVD-6e9a8b47

(подпись)

В.Д. Глушнев

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Серов Н.А.
	Идентификатор	R708da564-SerovNA-06ab7859

(подпись)

Н.А. Серов

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Желбаков И.Н.
	Идентификатор	R839a3a63-ZhelbakovIN-f73624c

(подпись)

И.Н.

Желбаков

(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 обосновывать принимаемые проектные решения, осуществлять постановку и выполнять эксперименты по проверке их корректности и эффективности

ИД-1 Демонстрирует знание методов анализа и синтеза линейных и нелинейных электрических, электронных, цифровых систем

2. ПК-4 Способен анализировать состояние средств измерений в организации, внедрение в процессы производства необходимых средств измерений и стандартных образцов и методик измерений

ИД-2 Проводит калибровочные процедуры измерительных систем

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Защита задания

1. Защита лабораторной работы №1 (Лабораторная работа)

2. Защита лабораторной работы №2 (Лабораторная работа)

3. Защита лабораторной работы №3 (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа №2 (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Подготовка к контрольной работе № 1 (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Тест №1 (Перекрестный опрос)

## БРС дисциплины

8 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %						
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
	Срок КМ:	4	4	8	8	12	12
Основные понятия и определения в расходомерии							
Основные понятия: расход и количество жидкости (газа), массовый и объемный расходы, расходомеры, счетчики количества и преобразователи расхода		+	+				
Метрологические и эксплуатационные характеристик расходомеров		+	+				

Гидродинамические методы измерения расхода						
Анализ гидродинамических методов измерения расхода			+	+		
Электромагнитный метод измерения расхода						
Физические основы электромагнитного метода измерения расхода			+	+		
Анализ конструкции ЭМ расходомеров; источники погрешности измерения и способы их устранения.					+	
Метрологическое обеспечение измерения расхода в трубах большого диаметра						
Метрологическое обеспечение расходомеров и счетчиков количества. Проблемы измерения расхода жидкости в трубопроводах большого диаметра					+	
Ультразвуковой метод измерения расхода						
Разновидности ультразвуковых методов измерения расхода. Время-импульсные ультразвуковые расходомеры.						+
Пьезоэлектрические преобразователи УЗР и методы высокоточного измерения времени распространения ультразвуковых сигналов						+
Вес КМ:	10	20	15	20	15	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-1 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание методов анализа и синтеза линейных и нелинейных электрических, электронных, цифровых систем	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•основы схемотехники аналоговых измерительных устройств в современных расходомерах жидкости и газа</li> <li>•принципы построения структурных, функциональных и принципиальных схем аналоговых измерительных устройств для реализации измерительных процедур в средствах измерения расхода</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•проводить анализ и синтез линейных и нелинейных электрических и электронных схем в средствах измерения расхода</li> <li>определять алгоритмы</li> </ul>	<p>Тест №1 (Перекрестный опрос)</p> <p>Защита лабораторной работы №1 (Лабораторная работа)</p> <p>Подготовка к контрольной работе № 1 (Контрольная работа)</p> <p>Защита лабораторной работы №2 (Лабораторная работа)</p>

		обработки измерительной информации от первичных преобразователей расхода, обеспечивающие повышенную надежность и точность измерения расхода	
ПК-4	ИД-2 <sub>ПК-4</sub> Проводит калибровочные процедуры измерительных систем	<p>Знать:</p> <p>основные методы поверки расходомеров и счетчиков жидкости, эталоны используемые при поверке</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•особенности применяемых технических решений и их влияние на метрологические характеристики расходомеров</li> </ul> <p>Уметь:</p> <p>анализировать результаты экспериментальной проверки метрологических характеристик расходомеров и определять их пригодность к эксплуатации</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•оценивать достоинства и недостатки различных типов расходомеров и применяемых в них технических решений</li> </ul>	Контрольная работа №2 (Контрольная работа) Защита лабораторной работы №3 (Лабораторная работа)

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

### КМ-1. Тест №1

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Перекрестный опрос

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты отвечают на вопросы, связанные с основными метрологическими определениями и понятиями применительно к средствам измерения расхода

#### Краткое содержание задания:

Что такой расход и количество жидкости (газа)? Что такое мгновенный и средний расход? Единицы измерения расхода и количества жидкости. Что такое приведенный к нормальным условиям объем (расход) газа?

Основные метрологические характеристики расходомеров и счетчиков жидкости (газа).

Как нормируют погрешности

расходомеров и счетчиков количества? Функции преобразования и влияния для первичных измерительных преобразователей расхода. Что понимают под метрологической исправностью и надежностью расходомеров?

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: •основы схемотехники аналоговых измерительных устройств в современных расходомерах жидкости и газа	1.Объемный и массовый расходы, связь расхода со скоростью жидкости (газа) в трубопроводе
Уметь: •проводить анализ и синтез линейных и нелинейных электрических и электронных схем в средствах измерения расхода	1.Как изменятся показания расходомера, измеряющего среднюю скорость жидкости в трубопроводе, если плотность жидкости уменьшилась на 2%?

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* В целом ответы правильные, отсутствуют грубые ошибки в определениях и понятиях.

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Допущены грубые ошибки, сигнализирующие о

### КМ-2. Защита лабораторной работы №1

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент представляет оформленный протокол проведения лабораторной работы, дает теоретическое обоснования полученным экспериментальным данным, отвечает на вопросы, связанные с корректностью выбранных методов исследования и полученных результатов

**Краткое содержание задания:**

Нарисуйте функциональную (гидравлическую) схему расходомерной поверочной установки. (Условные графические обозначения для элементов РУ приведены в приложении)

На примере протокола поверки счетчика воды определить основные обязательные разделы протокола, на основании которых поверитель может сделать заключение о пригодности (непригодности) СИ

По выданным протоколам поверки, рассчитать: случайную и неисключенную систематическую погрешности поверяемого расходомера, а также предельное возможное значение погрешности поверяемого расходомера при доверительной вероятности 95% (коэффициент охвата равен 2, коэффициент Стьюдента примите равным 1.

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: •основы схемотехники аналоговых измерительных устройств в современных расходомерах жидкости и газа</p>	<p>1.Что такое калибровка и поверка СИ? Как производится передача единицы измерения расхода и объема расходомерам и счетчикам воды?          2.Какие основные метрологические и технические характеристики расходомеров и счетчиков контролируются в процессе поверки?          3.Назовите основные средства измерения расходомерной установки (эталоны расхода), обеспечивающие передачу единицы измерения рабочим средствам измерения.          4.В каком документ регламентируется процедура поверки, Основные разделы методики поверки</p>																				
<p>Уметь: •проводить анализ и синтез линейных и нелинейных электрических и электронных схем в средствах измерения расхода</p>	<p>1.В таблице приведены результаты проверки основной погрешности измерения расходомера-счетчика воды, пределы допускаемой погрешности которого равны <math>\pm 1,5\%</math>. Определить пригодность расходомера к дальнейшей эксплуатации, в случае непригодности - обосновать принятое решение.</p> <table border="1" data-bbox="735 1283 1311 1422"> <thead> <tr> <th>Vo, л</th> <th>Тизм, с</th> <th>Qo, м3/ч</th> <th>Vx, л</th> <th>б, %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>900.0</td> <td>110.0</td> <td>29.455</td> <td>903.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>162.1</td> <td>360.0</td> <td>1.621</td> <td>163.102</td> <td></td> </tr> <tr> <td>81.414</td> <td>720.12</td> <td>0.407</td> <td>83.561</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Vo, л	Тизм, с	Qo, м3/ч	Vx, л	б, %	900.0	110.0	29.455	903.5		162.1	360.0	1.621	163.102		81.414	720.12	0.407	83.561	
Vo, л	Тизм, с	Qo, м3/ч	Vx, л	б, %																	
900.0	110.0	29.455	903.5																		
162.1	360.0	1.621	163.102																		
81.414	720.12	0.407	83.561																		

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Ответы в целом правильные, допускаются незначительные ошибки, не искажающие содержание темы по существу

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Ответ неправильный по существу

**КМ-3. Подготовка к контрольной работе № 1**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверяется выполнение письменного задания и задаются дополнительные вопросы по теме задания

**Краткое содержание задания:**

Определить требования к диапазону измерения (преобразования) и точности дифференциального измерительного преобразователя давления, работающего в составе расходомера переменного перепада давления (ППД) в виде стандартной диафрагмы с коэффициентом  $m=0,4$ . Расходомер должен обеспечивать измерение расхода при изменении скорости жидкости (воды) от 0,3 до 3 м/с с погрешностью не более 2%. Собственную погрешность преобразования диафрагмы принять равной 1%.

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: •принципы построения структурных, функциональных и принципиальных схем аналоговых измерительных устройств для реализации измерительных процедур в средствах измерения расхода</p>	<p>1.Почему расходомеры ППД имеют ограниченный диапазон измерения? 2.Как произвести линеаризацию калибровочной характеристики (функции) в расходомерах ППД?</p>
<p>Уметь: определять алгоритмы обработки измерительной информации от первичных преобразователей расхода, обеспечивающие повышенную надежность и точность измерения расхода</p>	<p>1.Составить схему вторичного преобразователя для расходомеров ППД с использованием микроконтроллера 2.В качестве вторичного измерительного преобразователя в расходомере ППД используется дифференциальный преобразователь давления в ток, имеющий приведенную погрешность 0,1%. Какую предельную погрешность будет иметь расходомер (преобразователь расход - ток) на расходе, равном 0,1 от верхнего предела измерения <math>Q_{в}</math>).</p>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в целом правильно, ошибки носят не принципиальный характер

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* метод решения задач выбран правильно, но при ответе допущены ошибки, которые были исправлены после дополнительных вопросов

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* метод решения задач выбран правильно, но при ответе допущены до 2 принципиальных ошибок

**КМ-4. Защита лабораторной работы №2**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

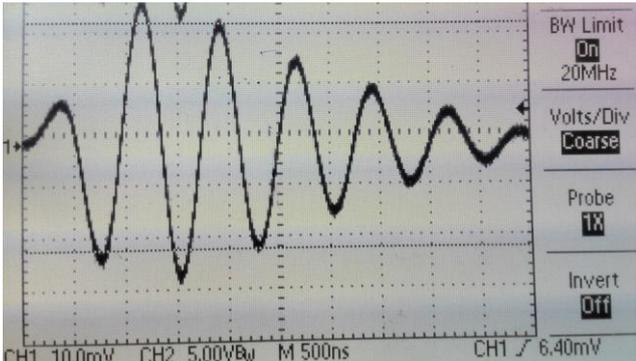
**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент представляет оформленный протокол проведения лабораторной работы, дает теоретическое обоснования полученным экспериментальным данным, отвечает на вопросы, связанные с корректностью выбранных методов исследования и полученных результатов

**Краткое содержание задания:**

В протоколе выполнения ЛР привести эскиз (сборочный чертеж) пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП). Определить назначение различных элементов ПЭП. Снять и построить частотную зависимость импеданса пьезоэлемента от частоты и определить его эквивалентную схему. Снять амплитудно-частотную характеристику ПЭП в совмещенном режиме работы (в режиме приема и передачи). Определить резонансную частоту и коэффициент двойного преобразования для заданных значений сопротивлений генератора и приемника сигналов.

### Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: •принципы построения структурных, функциональных и принципиальных схем аналоговых измерительных устройств для реализации измерительных процедур в средствах измерения расхода</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Что такое прямой и обратный пьезоэффект? Уравнения преобразования входного напряжения в</li> <li>2.Как получить экспериментальную зависимость входного импеданса от частоты? Отметить на частотной характеристике <math>Z_{пэ}(f)</math> частоту последовательного и параллельного резонансов.</li> <li>3. Эквивалентная электрическая схема пьезоэлектрического преобразователя, какими физическими параметрами определяются параметры электрической схемы.</li> </ol>
<p>Уметь: определять алгоритмы обработки измерительной информации от первичных преобразователей расхода, обеспечивающие повышенную надежность и точность измерения расхода</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Для заданных параметров эквивалентной схемы пьезоэлемента рассчитать его частоту параллельного и последовательного резонанса</li> <li>2.На рисунке представлена осциллограмма типичного входного ультразвукового сигнала импульсного УЗР. Пьезоэлектрический преобразователь ПЭП возбуждался коротким (дельта) импульсом. Параметры излучающего и принимаемого ПЭП - идентичны. Определить (приблизительно) эквивалентную резонансную частоту электроакустического тракта (ЭАТР), эквивалентную добротность и полосу пропускания ЭАТР.</li> </ol> 

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Ответы в целом правильные, допускаются незначительные ошибки, не искажающие содержание темы по существу

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Ответы по существу неправильные, искажающие сущность явлений и законов, лежащих в основе принципа действия расходомеров, и сущность метрологических законов

## КМ-5. Контрольная работа №2

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студентам выдаются задачи, связанные с расчетом параметров узлов и элементов электромагнитных расходомеров. Студенты выполняют задание и оформляют расчеты в письменном виде. В процессе расчетов разрешается использовать справочные материалы и вычислительные средства. Выполненная работа сдается и проверяется преподавателем

### Краткое содержание задания:

Рассчитать выходное напряжение первичного преобразователя электромагнитного расходомера (ЭМР) для следующих его параметров:

1. диаметр проточной части 100 мм
2. магнитная индукция 1,5 Тл
3. Скорость воды 3 м/с.
4. Весовую функцию по сечению проточной части расходомера принять равной 1.

### Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные методы поверки расходомеров и счетчиков жидкости, эталоны используемые при поверке	1.Какие параметры первичного преобразователя ЭМР определяют его коэффициент преобразования? 2.Почему на показание ЭМР оказывает влияние изменения поля скоростей жидкости (эпюры скоростей)
Уметь: анализировать результаты экспериментальной проверки метрологических характеристик расходомеров и определять их пригодность к эксплуатации	1.Магнитное поле в проточной части ЭМР увеличили в два раза, как изменятся показания расходомера? 2.Рассчитать погрешность ЭМР (изменения показаний), если входное сопротивление усилителя во вторичном преобразователе равно 20 МОм, а сопротивление между электродами первичного преобразователя (при изменении свойств жидкости) меняется от 10 до 40 кОм

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в целом правильно, ошибки носят не принципиальный характер

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* метод решения задач выбран правильно, но при ответе допущены ошибки, которые были исправлены после дополнительных вопросов

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* метод решения задач выбран правильно, но при ответе допущены принципиальные ошибки (не более 2)

## КМ-6. Защита лабораторной работы №3

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент представляет оформленный протокол проведения лабораторной работы, дает теоретическое обоснования полученным экспериментальным данным, отвечает на вопросы, связанные с корректностью выбранных методов исследования и полученных результатов

**Краткое содержание задания:**

Ознакомится с принципом действия УЗР. Изучить: назначение формирователя импульсов, коммутатора и приемника сигналов. Знать, как формируется интервал времени, равный времени распространения УЗС в жидкости (измеряемой среде) и принцип действия измерителя интервалов времени, использующий метод растяжки дробной части

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: •особенности применяемых технических решений и их влияние на метрологические характеристики расходомеров</p>	<p>1. Назначение и требования, предъявляемые к коммутатору сигналов в УЗР (коммутируемые напряжения, токи, остаточные параметры ключей: сопротивления в открытом и закрытом состоянии, паразитные емкости). 2. Форма принимаемых УЗС, способ и устройство формирования конца измеряемого по моменту пересечения сигналом "0" уровня 3. Влияние шумов и дрейфа "0"-го уровня компаратора на погрешность измерения времени распространения УЗС в жидкости. 4. Как погрешность измерения интервалов времени в УЗР влияет на точность измерения расхода.</p>
<p>Уметь: •оценивать достоинства и недостатки различных типов расходомеров и применяемых в них технических решений</p>	<p>1. нарисовать функциональную схему УЗР и объяснить принцип его работы 2. Для исследуемого в ЛР измерителя интервалов времени объяснить принцип действия селектора дробной части и интегратора дробной части, нарисовать диаграммы их работы 3. Для заданных параметров сигнала: отношение сигнал-шум и частота ультразвуковых сигналов рассчитать случайную составляющую погрешности формирования измеряемого в УЗР интервала времени</p>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Ответы в целом правильные, допускаются незначительные ошибки, не искажающие ответ по существу: неточности в употреблении терминов, нарушение последовательности в объяснении принципа действия и т.п.

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Ответы по существу неправильные, искажающие сущность явлений и законов, лежащих в основе действия расходомера и сущность метрологических законов

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 8 семестр

### Форма промежуточной аттестации: Экзамен

#### Пример билета

1. Как рассчитать расход в трубопроводе при заданном поле скоростей  $v = v(r, \varphi)$ ? ( $r, \varphi$  - цилиндрические координаты точек в сечении трубопровода)
2. Конструкция и основные узлы первичного преобразователя электромагнитного расходомера, принцип действия.
3. Задано поле скоростей в трубопроводе  $v = v_0[1 - (\frac{r}{R})^2]$ , рассчитать среднюю скорость жидкости по сечению  $v_s = \frac{Q}{S_s}$ , где  $S_s = \pi D^2/4$

Figure 1 Билет № 2

#### Процедура проведения

Студент выбирает билет, оформляет в письменном виде ответы на вопросы и решение задачи (время подготовки не более 30 мин) и отвечает по билету экзаменатору. Экзаменатор вправе задать по теме билета до 2-х дополнительных вопросов, а также дополнительные вопросы, если ответ студента по билету не полный.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание методов анализа и синтеза линейных и нелинейных электрических, электронных, цифровых систем

#### Вопросы, задания

Объяснить устройство и принцип действия вихревого расходомера, изображенного на рисунке, возможные варианты измерения частоты пульсации давления в вихревых расходомерах. Чем определяется частота срыва «вихрей» с тела обтекания?

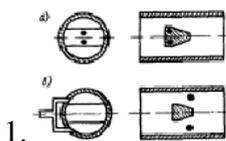


Figure 2

2. Конструкция первичного преобразователя, блок схема и принцип действия ультразвуковых время-импульсных расходомеров. Устройство пьезоэлектрических преобразователей (приемно-излучающих преобразователей).
3. Конструкция первичного преобразователя, блок схема и принцип действия ультразвуковых время-импульсных расходомеров. Устройство пьезоэлектрических преобразователей (приемно-излучающих преобразователей).
4. Метод прямого измерения времени распространения ультразвуковых сигналов (метод счета импульсов образцовой частоты). Схема УЗР, использующая синхрокольца. Разрешающая способность (погрешность дискретности) метода прямого измерения времени. Сигналы реверберации и их влияние на погрешность измерения.
5.
  1. Принцип действия расходомеров переменного перепада давления (ППД), их функция преобразования, конструкция диафрагмы и сопла Вентури. Достоинства и недостатки расходомеров ППД.
  6. Конструкция и основные узлы первичного преобразователя электромагнитного расходомера, принцип действия

## Материалы для проверки остаточных знаний

1. Почему в сужающих устройств (в диафрагмах, соплах и трубах Вентури) происходит уменьшение давления, как зависит перепад давления от скорости жидкости

Ответы:

1. Давление уменьшается за счет трения жидкости о стенки трубопровода;  $dP = \lambda v$
2. Уменьшение давления необходимо, чтобы возникающий перепад давления совершал работу для ускорения жидкости в сужающихся трубках тока;  $dP = \lambda v$
3. Уменьшение давления необходимо, чтобы возникающий перепад давления совершал работу для ускорения жидкости в сужающихся трубках тока;  $dP = \lambda v$
4. Давление уменьшается за счет трения между слоями жидкости и о стенки трубопровода;  $dP = \lambda v$

Верный ответ: 2

2. Какие параметры ультразвуковых сигналов во время-импульсных УЗР являются информативными и изменяются пропорционально скорости жидкости в трубопроводе?

Ответы:

1. Амплитуда сигнала
2. Разность времен распространения
3. Частота сигнала
4. Времена распространения сигналов

Верный ответ: 2, 4

3. Почему в электромагнитных расходомера возникает напряжение на электродах, пропорциональное скорости жидкости?

Ответы:

1. При движении жидкости в магнитном поле на заряды в жидкости действуют силы Лоренца, пропорциональные скорости жидкости, перемещение зарядов к электродам изменяет их потенциал
2. При движении жидкости изменяется электро-химический потенциал электродов
3. Движение жидкости приводит к изменению поляризации электродов

Верный ответ: 1.



4.

Figure 3 На рисунке изображена форма ультразвукового сигнала в УЗР время-импульсного типа. Объяснить почему сигнал имеет колебательный характер и определить частоту колебаний

Ответы:

1. Приемная цепь УЗР содержит узкополосный избирательный фильтр, при приеме импульсного сигнала в нем возникают колебания. Частота 1 МГц
2. Пьезоэлектрические преобразователи являются колебательными системами, при возбуждении их коротким импульсом они совершают затухающие колебания. Частота 1000 нс
3. Пьезоэлектрические преобразователи являются колебательными системами, при возбуждении их коротким импульсом они совершают затухающие колебания. Частота 1 МГц

Верный ответ: 3

5. Почему электромагнитные расходомеры не используются для измерения нефтепродуктов и других непроводящих жидкостей?

Ответы:

1. Непроводящие жидкости обладают большим магнитным сопротивлением, сильно уменьшают магнитное поле и чувствительность расходомера
2. Электромагнитный расходомер - это магнитно-гидродинамический генератор, его внутренне сопротивление - сопротивление между электродами. Для непроводящих жидкостей оно стремится к бесконечности, что не позволяет измерить ЭДС между электродами (информативный параметр) с приемлемой точностью
3. В непроводящей жидкости отсутствуют свободные заряды, поэтому силы Лоренца (пропорциональные скорости жидкости) не могут обеспечить движение зарядов во внешней цепи и получить информацию о скорости и расходе жидкости.

Верный ответ: 2 или 3

## 2. Компетенция/Индикатор: ИД-2ПК-4 Проводит калибровочные процедуры измерительных систем

### Вопросы, задания

1. Что измеряют расходомеры и что измеряют счетчики жидкости (газа)? Как объемный и массовый расходы связаны со средней скоростью жидкости в трубопроводе?

2. Рассчитать частоту срыва вихрей с тела обтекания (клина) с характерным размером  $d=2\text{ см}$ , при скорости потока  $1\text{ м/с}$ ; число Струхала  $Sh=0,2$

Как рассчитать расход в трубопроводе при заданном поле скоростей  $v = v(r, \varphi)$ ?

3. ( $r, \varphi$  - цилиндрические координаты точек в сечении трубопровода)

Figure 4 Привести формулы, связывающие расход с полем скоростей

Задано поле скоростей в трубопроводе  $v = v_0[1 - (\frac{r}{R})^2]$ , рассчитать среднюю скорость

4. жидкости по сечению  $v_s = \frac{Q}{S_{\pi}}$ , где  $S_{\pi} = \frac{\pi D^2}{4}$

Figure 5

5.

Что представляют собой эталоны расхода и количества жидкости? Основные элементы расходомерных установок (РУ). Основные и вспомогательные средства измерений РУ

6.1. Основные узлы расходомерной установки, объемный и весовой метод реализации единицы расхода. Использование метода сличения при поверке расходомеров и счетчиков (образцовые расходомеры)

7. Функция преобразования расходомеров переменного перепада давления (ППД) (Обосновать, используя теорему Бернулли). Объяснить возникновение перепада давления и потери давления. Достоинства и недостатки ППД.

8. Оценить перепад давления в стандартной диафрагме при скорости воды  $3\text{ м/с}$  и для отношения диаметра трубопровода к диаметру отверстия диафрагмы  $m=0,5$ . (Считать: плотность жидкости  $\rho = 1000\text{ кг/м}^3$ , трубка расположена горизонтально).

9. Рассчитать среднее время распространения и разность времен распространения в первичном преобразователе УЗР, если расстояние между ПЭП  $L_{\text{пп}}=1,5\text{ м}$ , угол наклона осей ПЭП к стенке трубы  $\alpha=60^\circ$ , общая длина карманов ПЭП –  $L_K=20\text{ мм}$ , средняя скорость жидкости вдоль луча  $v_l=2,25\text{ м/с}$ , а скорость УЗ в неподвижной жидкости  $C=1,5\text{ км/с}$

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Что такое расход жидкости (газа), и его единицы измерения

Ответы:

1. количество жидкости, которое показывает расходомер,  $\text{м}^3/\text{с}$
2. количество жидкости, израсходованное потребителем,  $\text{м}^3$
3. количество жидкости, протекающей по трубопроводу за единицу времени  $\text{м}^3/\text{с}$ ,  $\text{л/с}$ ,  $\text{м}^3/\text{час}$
4. количество жидкости, прошедшей через трубопровод за сутки,  $\text{м}^3$

Верный ответ: 3.

2. Укажите связь между скоростью жидкости ( $v$ ) в трубопроводе и расходом ( $Q$ )

Ответы:

1.  $Q = v/S$ , где  $S$  - площадь поперечного сечения трубопровода;
2.  $Q = v D$ , где  $D$  - внутренний диаметр трубопровода;
3.  $Q = v D^2$ , где  $D$  - внутренний диаметр трубопровода;
4.  $Q = v S$ , где  $S$  - площадь поперечного сечения трубопровода,  $v$  - средняя по сечению скорость жидкости;
5. Расход - это поток вектора скорости через поперечное сечение трубопровода.

Верный ответ: 4, 5

3. Что используют в качестве эталонов при калибровке и поверке расходомеров и счетчиков количества

Ответы:

1. Расходомеры и счетчики повышенной точности
2. Расходомерные установки
3. Калиброванные резервуары жидкости и емкости для жидкости и газа
4. Весовые установки
5. Таймеры

Верный ответ: 2.

4. Почему показания однолучевого ультразвукового расходомера (УЗР) зависят от распределения скорости по сечению трубопровода

Ответы:

1. Поле скоростей влияет на траекторию движения ультразвуковой волны (искривляет луч ультразвука)
2. Отклонения поля скоростей от номинального распределения изменяет амплитуду принимаемых сигналов и изменяет коэффициент преобразования расходомера
3. УЗР измеряет среднюю скорость вдоль луча ультразвука, а расход определяется средней скоростью по сечению трубопровода, связь между этими скоростями зависит от поля скоростей в трубопроводе

Верный ответ: 3.

5. Из приведенных ниже, определите чувствительный элемент тахометрического расходомера и его тип

Ответы:

1. Обтекатель и ступица в турбинном расходомере
2. Счетный механизм тахометрического расходомера
3. Аксиальная турбина в турбинном расходомере
4. Тангенсальная турбина в турбинном расходомере
5. Аксиальная турбина в крыльчатом расходомере

Верный ответ: 3

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Ответы на вопросы и решение задач в билете выполнены без принципиальных ошибок, после уточняющих вопросов они были исправлены

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* При ответе на вопросы и при решении задач были допущены ошибки (не более 2), которые были исправлены при ответе на дополнительные вопросы.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: При ответе на вопросы и (или) при решении задач были допущены ошибки (не более 3), которые не были исправлены при ответе на дополнительные вопросы.*

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

Оценка определяется на основании семестровой и экзаменационной составляющих. Вес средней семестровой оценки 40%. Вес экзаменационной составляющей 60%