

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 23.09.2022 15:19:54
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП



О.Н. Медведева

«28» _____ июня _____ 2022 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)
Метрология, стандартизация и сертификация

Направление подготовки
27.03.05 Инноватика

профиль
Управление инновациями (по отраслям и сферам экономики)

Для студентов
4 курса, очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н., доцент Кузнецова Ю.В.

Тверь, 2022

I. Аннотация

1. Наименование дисциплины в соответствии с учебным планом

Метрология, стандартизация и сертификация

2. Цель и задачи дисциплины

Метрология, стандартизация и сертификация – это триединая область знаний, которая является важным инструментом обеспечения качества продукции и услуг, разработки, создания и реализации конкурентоспособной продукции.

С развитием экономических отношений и выходом России на мировой рынок их значение в науке, производстве и технике становится значительным, что способствует формированию новых взглядов на возможность их использования в обеспечении качества и безопасности производимых товаров и услуг.

Цели освоения дисциплины:

- знакомство студентов с теорией, средствами и видами измерений, схемами прямых и косвенных измерений, источниками и классификацией погрешностей, метрологическим обеспечением;
- основами стандартизации и сертификации, государственной системы стандартизации, международными стандартами; принципами стандартизации, принципами стандартизации в инновационной сфере, лицензированием.

Задачи освоения дисциплины:

- получение студентом основных сведений о правовых, организационных и методических основах стандартизации, метрологии и сертификации на национальном, региональном и международном уровнях;
- подготовка бакалавра, владеющего знаниями основ метрологии, стандартизации и сертификации в рассматриваемой области.

Практический раздел курса рассчитан на получение студентами навыков в планировании и проведении эксперимента, обеспечивающего выбранную точность получения измерительной информации путем анализа методики определения физической величины и характеристик используемого оборудования.

3. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина входит в модуль 3 «Дисциплины, формирующие ПК-компетенции» вариативной части учебного плана. Она является одной из дисциплин, участвующих в профессиональной подготовке бакалавра и обеспечивается дисциплинами естественнонаучной группы (математика, концепция современного естествознания, информационные технологии). Содержательно она формирует у студентов достаточные знания, позволяющие использовать современные измерительные технологии, направленные на получение измерительной информации требуемого качества. В свою очередь, дисциплина поддерживает изучение вопросов управления проектами и создания систем качества, обеспечивает адаптацию специалиста по управлению инновациями в первичной должности, а также готовит обучающихся к прохождению учебной и производственной практик, выполнению научно-исследовательской и выпускной квалификационной работы.

4. Объем дисциплины: 3 зачетных единицы, 108 академических часов, **в том числе контактная работа:** лекции 24 часа, практические занятия 12 часов, **самостоятельная работа:** 72 часа.

5. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
Способностью применять знания математики, физики и естествознания, химии и материаловедения, теории управления и информационные технологии в инновационной деятельности (ОПК-7).	<p>Владеть: практическими навыками применения знаний в области измерения физических величин при проведении эксперимента при выполнении и учебной (лабораторных работ) и научной (выполнение курсовых и аттестационных работ) деятельности индивидуально и в составе малых групп.</p> <p>Уметь: ставить задачу, строить алгоритм ее выполнения, практически выполнять измерительные операции; оценить достоверность полученных результатов.</p> <p>Знать: основы построения алгоритма измерения физических величин, обеспечивающего необходимую достоверность выполнения поставленной задачи.</p>
способностью использовать нормативные документы по качеству, стандартизации в практической деятельности (ПК-1)	<p>Владеть: навыками использования нормативных документов по качеству и стандартизации в процессе практической деятельности при выполнении поставленной задачи.</p> <p>Уметь: анализировать нормативные документы по качеству и стандартизации при подготовке к практическому выполнению измерительных операций и оценке достоверности полученных результатов.</p> <p>Знать: основы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - законодательной, теоретической и практической метрологии; - отечественной и международной стандартизации; - правил выполнения сертификационных испытаний.

6. Форма промежуточной аттестации – зачет (7 семестр).

7. Язык преподавания - русский.

II. Содержание дисциплины, структурированное по темам с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)		Самостоятельная работа (час.)
		Лекции	Практические (лабораторные) занятия	
Введение – историческая справка 1. МЕТРОЛОГИЯ 1.1. Метрология (предмет и основные понятия). 1.2. Физические свойства и величины.	1 32	1 8	4	20

<p>Качественная и количественная характеристики измеряемых величин. Способы получения измерительной информации. Системы физических величин и единиц.</p> <p>1.3. Основные понятия теории погрешностей. Классификация погрешностей. Погрешность и неопределенность. Правила округления результатов измерений.</p> <p>1.4. Систематические погрешности и их классификация. Способы обнаружения и устранения систематических погрешностей.</p> <p>1.5. Случайные погрешности. Вероятностное описание случайных погрешностей. Оценка результата измерения. Оценка случайных погрешностей. Доверительная вероятность и доверительный интервал.</p> <p>1.6. Грубые погрешности (промахи) и методы их исключения.</p> <p>1.7. Обработка результатов прямых многократных измерений. Определение погрешности прямых и косвенных измерений. О точности вычислений. Погрешность определения погрешности. Необходимое число измерений.</p> <p>2. ЕДИНСТВО ИЗМЕРЕНИЙ. ЭТАЛОНЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН</p> <p>2.1. Воспроизведение единиц физических величин и передача их размеров. Единство измерений. Эталоны единиц физических величин. Классификация эталонов. Примеры построения эталонов основных единиц. Поверочные схемы.</p> <p>2.2. Основы техники измерений. Виды измерений. Методы измерений.</p> <p><i>Промежуточное аттестационное занятие:</i></p> <p>2.3. Средства измерений (понятие, классификация). Метрологические характеристики средств измерений их нормирование и изменение в процессе эксплуатации. Классы точности средств измерений. Надежность средств измерений. Метрологическая надежность средств измерений (основные понятия теории, показатели метрологической надежности, межповерочные интервалы).</p> <p>3. ОСНОВЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ</p> <p>Цели и задачи стандартизации. Методы и формы стандартизации. Нормативные документы по стандартизации в РФ. Виды стандартов. Международная стандартизация. Правовые основы, задачи и организация государственного надзора в области стандартизации. Принципы стандартизации в инновационной сфере, лицензирование.</p>	28	6	2	20
<p>2</p>	2	2		
<p>19</p>	4	1	14	

4. ОСНОВЫ СЕРТИФИКАЦИИ Цели и объекты сертификации. Органы сертификации. Системы сертификации. Аккредитация испытательных лабораторий. Качество продукции. Объективные методы определения показателей качества. Экспертный метод оценки качества продукции. ИТОГОВОЕ ЗАНЯТИЕ <i>Промежуточное аттестационное занятие:</i>	19	4	1	14
	5 2	1	2	4
ИТОГО	108	24	12	72

III. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

- планы практических занятий и методические рекомендации к ним;
- тематика выступлений и методические рекомендации по их написанию;
- методические рекомендации по выполнению практических работ;
- методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов при решении поставленных задач;
- электронные презентации.

IV. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Наряду с естественнонаучными дисциплинами базовой части блока Б1 дисциплина «Метрология, стандартизация и сертификация» участвует в формировании общепрофессиональной компетенции ОПК-7 «Способностью применять знания математики, физики и естествознания, химии и материаловедения, теории управления и информационные технологии в инновационной деятельности» и профессиональной компетенции ПК-1 «способностью использовать нормативные документы по качеству, стандартизации в практической деятельности».

Форма проведения зачета: студенты, освоившие программу курса «Метрология, стандартизация и сертификация» могут получить зачет по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно Положения о рейтинговой системе обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ (протокол №4 от 25 октября 2017 г.). Максимальная сумма баллов, которые можно получить за семестр 100.

- полусеместровая и семестровая аттестации 40 баллов (две контрольных работы по 20 баллов);
- два бонусных задания 20 баллов (по 10 баллов каждый);
- 20 баллов за работу на занятиях в семестре;
- 20 баллов за самостоятельное решение задач (10 баллов за задание).

Все баллы, полученные в течение семестра, суммируются.

На полусеместровой аттестации используется опросный лист для проверки категорий знать и уметь (20 тестовых вопросов). На семестровой аттестации – опросный лист для проверки категорий знать и владеть (4 вопроса и задача).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то зачет сдается согласно Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ (протокол №4 от 25 октября 2017 г.).

При сдаче зачета используется опросный лист для проверки категорий знать, уметь и владеть (4 вопроса и 2 задачи).

Пример опросного листа для полусеместровой аттестации:

1. Измерение физических величин: определение; задачи, решаемые в процессе измерения физических величин; примеры (показать форму записи результата измерения физической величины).

2. Случайные ошибки (определение, способы расчета и форма записи).
3. Закон сложения систематических ошибок.
4. Действительное значение физической величины. Как действительное значение физической величины определяется на практике (привести пример).
5. Рассчитать абсолютную (Δ) и относительную (δ) погрешности определения длины окружности $l_{окр} = 2\pi R$, если известны значения $R = (100,00 \pm 2,55)$ мм и $\pi = 3,14 \pm 0,005$.

Рассмотреть и сравнить два случая: ошибка измерения определяется систематическими погрешностями ($\Delta_R = \pm 2,55$ мм, $\Delta_\pi = \pm 0,005$); ошибка измерения определяется случайными погрешностями ($S_{nR} = 2,55$ мм, $S_{n\pi} = 0,005$), $n = 5$, $\alpha = 0,9$.

Результат записать, используя правила округления погрешностей измерения физических величин.

1. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ОПК-7 «Способностью применять знания математики, физики и естествознания, химии и материаловедения, теории управления и информационные технологии в инновационной деятельности»

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания		
		Второй уровень (2 балла по каждому критерию)	Средний уровень (2 балла по каждому критерию)	Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)
Промежуточный	Задание для проверки сформированности владений: При измерении мирового рекорда на спринтерской дистанции 100 м использовался электронный секундомер с относительной инструментальной погрешностью 0.2 %. Можно ли уверенно утверждать, что время 8.70 с является новым мировым рекордом, если время действующего мирового рекорда равно (8.745 ± 0.001) с (ответ обоснуйте математическим неравенством)?	Может свободно оперировать понятиями и правилами составления алгоритма принятия решения при рассмотрении поставленной задачи, выполнить необходимые действия и принять необходимое решение.	Владеет основными правилами, составления алгоритма принятия решения при рассмотрении поставленной задачи, выполняет стандартный порядок действий необходимый для решения задачи и принятия необходимого решения.	
Промежуточный	Задания для проверки сформированности умений: <u>Задачи типа:</u>	Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)	Средний уровень (2 балла по каждому критерию)	Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)
		Составляет	Составляет	Имеет

<p>Рассчитать абсолютную (Δ) и относительную (δ) погрешности определения длины окружности $l_{окр} = 2\pi R$, если известны значения $R = (100,00 \pm 2,55)$ мм и $\pi = 3,14 \pm 0,005$.</p> <p>Рассмотреть и сравнить два случая: ошибка измерения определяется систематическими погрешностями ($\Delta_R = \pm 2,55$ мм, $\Delta_\pi = \pm 0,005$); ошибка измерения определяется случайными погрешностями ($S_{nR} = 2,55$ мм, $S_{n\pi} = 0,005$), $n = 5$, $\alpha = 0,9$.</p> <p>Результат записать, используя правила округления погрешностей измерения физических величин.</p>	<p>алгоритм выполнения поставленной задачи, свободно владеет основными понятиями теории погрешностей и соотношениями применяемого математического аппарата.</p>	<p>алгоритм выполнения поставленной задачи, владеет основными понятиями теории погрешностей и соотношениями применяемого математического аппарата и/или допускает фактические ошибки, не искажающие общего смысла.</p>	<p>представление о алгоритме выполнения поставленной задачи, основных понятиях теории погрешностей и соотношениях применяемого математического аппарата, но затрудняется при объяснении их сути и/или допускает фактические ошибки, не искажающие общего смысла.</p>
<p>Задания для проверки сформированности знаний:</p>	<p>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</p>	<p>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</p>	<p>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</p>
<p>Предмет, задачи и средства метрологии</p>	<p>Знает предмет, задачи и средства метрологии. Не допускает фактических ошибок.</p>	<p>Знает предмет, задачи и средства метрологии. Допускает несущественные ошибки, не искажающие общего смысла.</p>	<p>Имеет отрывочные знания о предмете, задачах и средствах метрологии. И/ИЛИ Допускает ошибки, не искажающие общего смысла.</p>
<p>Общая классификация погрешностей измерения физических величин.</p>	<p>Знает основные понятия. Не допускает фактических ошибок.</p>	<p>Знает основные понятия. Допускает несущественные ошибки, не</p>	<p>Имеет отрывочные знания об основных понятиях. И/ИЛИ</p>

			искажающие общего смысла.	Допускает ошибки, не искажающие общего смысла.
	Знать основные принципы определения систематических и случайных ошибок определения физической величины.	Знает основные принципы определения систематических и случайных ошибок определения физической величины. Не допускает фактических ошибок.	Знает основные принципы определения систематических и случайных ошибок определения физической величины. Допускает несущественные фактические ошибки, не искажающие общего смысла.	Имеет отрывочные знания о принципах определения систематических и случайных ошибок определения физической величины. И/ИЛИ Допускает несущественные фактические ошибки, не искажающие общего смысла.
	Основные правила определения погрешности определения физической величины, полученных прямых и косвенных видов измерения.	Знает основные алгоритмы определения ошибок измерения физических величин. Не допускает фактических ошибок.	Знает основные алгоритмы определения ошибок измерения физических величин. Допускает несущественные фактические ошибки, не искажающие общего смысла.	Имеет отрывочные знания о алгоритмах определения ошибок измерения физических величин. И/ИЛИ Допускает несущественные фактические ошибки, не искажающие общего смысла.

2. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-1 «способностью использовать нормативные документы по качеству, стандартизации в практической деятельности»

Этап формирования компетенции, в котором	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
---	---	---

участвует дисциплина																
Начальный	Задание для проверки сформированности владений:	Второй уровень (2 балла по каждому критерию)		Первый уровень (1 балл по каждому критерию)												
	Задачи типа: В результате поверки амперметра с верхним пределом измерения $U_k=30$ А получены следующие значения электрического тока ($I_{изм}$) при эталонных значениях тока ($I_{эт}$): <table border="1" data-bbox="491 748 876 826"> <tr> <td>$I_{эт}, А$</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>20</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>$I_{изм}, А$</td> <td>4,8</td> <td>10,3</td> <td>15,2</td> <td>19,7</td> <td>25,4</td> </tr> </table> Может ли метролог выдать на прибор свидетельство о поверке, если класс точности прибора обозначен как $\textcircled{2,5}$ (ответ подтвердите математическим неравенством и графически)?	$I_{эт}, А$	5	10	15	20	25	$I_{изм}, А$	4,8	10,3	15,2	19,7	25,4	Может свободно оперировать понятиями при составлении алгоритма принятия решения при рассмотрении поставленной задачи, выполнить необходимые действия и принять необходимое решение.		Владеет основными понятиями, используемыми при составлении алгоритма принятия решения при рассмотрении поставленной задачи, выполняет стандартный порядок действий необходимый для решения задачи и принятия необходимого решения.
$I_{эт}, А$	5	10	15	20	25											
$I_{изм}, А$	4,8	10,3	15,2	19,7	25,4											
Начальный	Задания для проверки сформированности умений:	Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)		Средний уровень (2 балла по каждому критерию)	Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)											
	В результате поверки амперметра с верхним пределом измерения 60 А получены следующие значения электрического тока ($I_{изм}$) при эталонных значениях тока ($I_{эт}$): <table border="1" data-bbox="512 1704 855 1854"> <tr> <td>$I_{эт}$</td> <td>7,0</td> <td>15,0</td> <td>21,0</td> <td>28,0</td> <td>45,0</td> </tr> <tr> <td>$I_{изм}$</td> <td>6,9</td> <td>15,2</td> <td>21,1</td> <td>27,8</td> <td>45,1</td> </tr> </table> Допустимо ли метрологу выдать на прибор свидетельство о поверке, если форма выражения погрешности измерительного прибора	$I_{эт}$	7,0	15,0	21,0	28,0	45,0	$I_{изм}$	6,9	15,2	21,1	27,8	45,1	Может свободно оперировать понятиями при составлении алгоритма принятия решения при рассмотрении поставленной задачи, выполнить необходимые действия и принять необходимое решение.		Владеет основными понятиями, используемыми при составлении алгоритма принятия решения при рассмотрении и поставленной задачи, выполняет стандартный порядок действий
$I_{эт}$	7,0	15,0	21,0	28,0	45,0											
$I_{изм}$	6,9	15,2	21,1	27,8	45,1											

	<p>приведенная, т.е. $\gamma = 0,5\%$ во всем диапазоне измерения? Ответ</p> <p>подтвердите математическим неравенством и графически.</p>		<p>необходимы для решения задачи и принятия необходимого решения.</p>	<p>задачи и принятия необходимого решения и/или допускает фактические ошибки, не искажающие общего смысла.</p>
	<p>Задания для проверки сформированности знаний:</p>	<p>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</p>	<p>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</p>	<p>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</p>
	<p>Назовите общие цели стандартизации.</p>	<p>Знает общие цели стандартизации. Не допускает фактических ошибок.</p>	<p>Знает общие цели стандартизации. Допускает несущественные фактические ошибки, не искажающие общего смысла.</p>	<p>Имеет отрывочные представления об общих целях стандартизации. И/ИЛИ Допускает несущественные фактические ошибки, не искажающие общего смысла.</p>
	<p>Назовите цели сертификации.</p>	<p>Знает общие цели сертификации. Не допускает фактических ошибок.</p>	<p>Знает общие цели сертификации. Допускает несущественные фактические ошибки, не искажающие общего смысла.</p>	<p>Имеет отрывочные представления об общих целях сертификации. И/ИЛИ Допускает несущественные фактические ошибки, не искажающие общего смысла.</p>

V. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) Основная литература:

1. Зайдель А. Н. Ошибки измерений физических величин: учебное пособие. - СПб: Лань, 2009. - Электронный ресурс. - Режим доступа :

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=146

2. Дегтярев А. А. Метрология. Учебное пособие. - М.: «Академический проект», 2006.

Электронный ресурс. - Режим доступа:

<http://www.biblioclub.ru/index.php?page=book&id=143149>

б) Дополнительная литература:

1. Герасимова Елена Борисовна. Метрология, стандартизация и сертификация : Учебное пособие / Герасимова Елена Борисовна, Герасимов Борис Иванович. - 2. - Москва ; Москва : Издательство "ФОРУМ" : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2015. - 224 с. - ДЛЯ УЧАЩИХСЯ ПТУ И СТУДЕНТОВ СРЕДНИХ СПЕЦИАЛЬНЫХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ. - ISBN 978-5-00091-014-6.

Режим доступа: <http://znanium.com/go.php?id=493233>

VI. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

VII. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

1) Планы практических занятий и методические рекомендации к ним:

Планы практических занятий приведены в учебно-методических разработках по выполнению конкретных задач.

2) Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов при решении поставленных задач:

- подготовка к контрольным работам и зачету проводится:

- по вопросам для рубежного контроля (см. раздел «Требования к рейтинг-контролю»);
- по контрольным вопросам (раздел «Планы и методические указания»).

Часть 1. Метрология

2.1. Обозначения и термины [3]:

Y – измеряемая физическая величина;

X – измеренное значение физической величины;

X_u – истинное значение физической величины;

X_0 – действительное значение измеренной величины;

X_{cp} или \bar{X} – среднее значение измеренной физической величины;

X_i – результат отдельного измерения физической величины;

Δ – абсолютная погрешность измерения физической величины;

Δ_x – абсолютная погрешность отдельного измерения физической величины;

δ – относительная погрешность измерения физической величины;

$w = \frac{\sigma}{\bar{X}}$ (на практике $\frac{S_n}{\bar{X}}$) – коэффициент вариации;

S_n – средняя квадратичная или стандартная погрешность;

σ – истинное значение средней квадратичной погрешности;

σ^2 – дисперсия измерений;

S'_n – средняя квадратичная погрешность среднего арифметического \bar{X} из n измерений;

$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ – средняя квадратичная ошибка среднего арифметического;

r_n – средняя арифметическая ошибка;

ρ - истинное значение средней арифметической ошибки;

$$\varepsilon = \frac{\Delta_x}{\bar{\sigma}} = \frac{\Delta_x}{S'_n}, \text{ на практике } \varepsilon \approx \frac{\Delta_x}{\sigma} = \frac{\Delta_x}{S_n}.$$

$\Delta = \pm a$ и $\Delta = \pm(a + bX)$ - абсолютная погрешность измерительного прибора;

$\Delta_0 = a = \frac{dX_k}{100}$ - аддитивная составляющая абсолютной погрешности измерительного

прибора;

k - поправка (величина равная и обратная по знаку абсолютной погрешности измерительного прибора);

$\gamma_s X = bX$ - мультипликативная составляющая абсолютной погрешности измерительного прибора;

$\gamma_s = b = \frac{c - d}{100}$ - относительная погрешность чувствительности измерительного прибора;

$\delta = \pm q$ - относительная погрешность измерительного прибора;

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{X_k}{X} \right| - 1 \right) \right] \% \quad \text{и} \quad \delta = \pm \left(c + d \left| \frac{X_0}{X} - 1 \right| \right) \% \quad - \text{соотношения для определения}$$

относительной погрешности измерительных приборов, абсолютная погрешность которых содержит аддитивную и мультипликативную составляющие.

X_k - конечное значение выбранного диапазона измерений (номинальное значение) или диапазона значений сигнала на входе преобразователя;

X_0 - значение измеряемой прибором величины или сигнала на входе преобразователя, при котором предел допускаемой погрешности имеет наименьшее значение;

$\gamma = \pm p$ - допускаемая приведенная основная погрешность;

X_n - нормирующее значение, выраженное в тех же единицах, что и Δ .

2.2. Примеры решения задач, используемых при первом и втором рубежном контроле знаний студентов [7]¹:

1. Определение среднего арифметического

Найти среднее арифметическое для шести измерений линейного размера $x = 2,327; 2,335; 2,315; 2,320; 2,314$ и $2,321$ мм.

При вычислениях использовать выражения

$$X_{cp} \approx \bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad \text{и} \quad (10)$$

$$X_{cp} = \bar{X} = X_0 + \frac{1}{n} \sum_1^n (X_i - X_0). \quad (10a)$$

1. Воспользуемся выражением (10)

$$\bar{X}_1 = \frac{2,327 + 2,335 + 2,315 + 2,320 + 2,314 + 2,321}{6} = \frac{13,932}{6} = 2,322 \text{ мм.}$$

2. Воспользуемся выражением (10a), в качестве X_0 выберем значение 2,325 мм.

$$\begin{aligned} \bar{X}_2 &= 2,325 + \frac{1}{6} (0,002 + 0,01 - 0,01 - 0,005 - 0,011 - 0,004) = \\ &= 2,325 - \frac{0,018}{6} = 2,325 - 0,003 = 2,322 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Получаем, что $\bar{X}_1 = \bar{X}_2 = 2,322$ мм, что говорит о возможности использования любой из представленных формул.

¹ Нумерация формул такая же как в учебном пособии [7].

Определение средней квадратической ошибки

Найти среднюю квадратическую ошибку единичного измерения для шести значений линейного размера $x = 2,327; 2,335; 2,315; 2,320; 2,314$ и $2,321$ мм, полученных в результате независимых повторных измерений.

При вычислениях можно использовать выражения

$$S_n = \sqrt{\frac{(\bar{X} - X_1)^2 + (\bar{X} - X_2)^2 + \dots + (\bar{X} - X_n)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X} - X_i)^2}{n-1}}, \quad (11)$$

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_0 - X_i)^2 - \frac{\left[\sum_{i=1}^n (X_0 - X_i)\right]^2}{n}}{n-1}} \quad (11a)$$

1. Воспользуемся выражением (11), среднее арифметическое значение для x_i при $n = 6$
 $\bar{X} = \frac{13,932}{6} = 2,322$ мм.

$$S_{n1} = \sqrt{\frac{(-0,005)^2 + (-0,013)^2 + 0,007^2 + 0,002^2 + 0,008^2 + 0,001^2}{5}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,000312}{5}} = \sqrt{0,0000624} = 0,007899 \approx 0,0079 \text{ мм.}$$

2. Воспользуемся выражением (11a), для X_0 выберем значение 2,325 мм. Определим вначале

$$\sum_{i=1}^n (X_0 - X_i)^2 = (-0,002)^2 + (-0,01)^2 + 0,01^2 + 0,005^2 + 0,011^2 + 0,004^2 = 0,000366,$$

затем

$$\frac{\left[\sum_{i=1}^n (X_0 - X_i)\right]^2}{6} = \frac{(-0,002 - 0,01 + 0,01 + 0,005 + 0,011 + 0,004)^2}{6} =$$

$$\frac{0,018^2}{6} = \frac{0,0000624}{6} = 0,000054.$$

Окончательный результат находим из соотношения

$$S_{n2} = \sqrt{\frac{0,000366 - 0,000054}{5}} = \sqrt{\frac{0,000312}{5}} = \sqrt{0,0000624} = 0,007899 \approx 0,0079 \text{ мм.}$$

Видно, что в пределах точности вычисления $S_{n1} = S_{n2} = 0,0079$ мм, поэтому выбор выражения для вычисления средней квадратической ошибки единичного измерения (11) или (11a) зависит от удобства проведения математических операций.

2. Определение случайной ошибки измерения физической величины

Измерить длину некоторого цилиндра с помощью микрометра, обеспечивающего точность измерения линейного размера 0,005 мм.

В процессе измерений получены семь значений X_i в мм: 7,420; 7,415; 7,430; 7,420; 7,445; 7,410 и 7,425.

При вычислениях использовать выражения (10), (11), а так же соотношением Стьюдента

$$t_{\alpha,n} = \frac{\sqrt{n}\Delta X}{S_n} = \frac{\Delta X}{S'_n}, \quad (16)$$

Используя выражение (10) находим среднее арифметическое значение

$$\bar{X} = \frac{7,420 + 7,415 + 7,430 + 7,420 + 7,445 + 7,410 + 7,425}{7} = \frac{51,965}{7} = 7,424 \text{ мм.}$$

По формуле (11) находим S_n

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^7 (X_i - \bar{X})^2}{6}} = \sqrt{\frac{0,000787}{6}} = \sqrt{0,0001311} = 0,01145 \text{ мм.}$$

Если случайная ошибка измерения линейного размера равна средней квадратической ошибке $S_n = 0,01145$ мм, то доверительный интервал равен $\pm \Delta_x = 0,01145$ мм, а $\Delta_x = 0,00573$.

Вероятность того, что среднее арифметическое \bar{X} попадает в этот интервал, определяется следующим образом. По формуле (16) находим значение коэффициента Стьюдента

$$t_{\alpha,7} = \frac{\sqrt{n}\Delta_x}{S_n} = \frac{\Delta_x}{S'_n} = \frac{\sqrt{7} \cdot 0,00573}{0,01145} = \frac{0,01516}{0,01145} = 1,324 \sim 1,3.$$

В таблице 4 [3] в шестой строке (для $n = 7$) $t_{\alpha,7} = 1,3$ находится между столбцами с доверительной вероятностью $\alpha_1 = 0,7$ ($t_{\alpha,7} = 1,2$) и $\alpha_2 = 0,8$ ($t_{\alpha,7} = 1,5$). Если предположить, что между значениями $t_{\alpha,7} = 1,2$ и $t_{\alpha,7} = 1,5$ значения α меняются линейно, то для $t_{\alpha,7} = 1,3$ доверительная вероятность будет равна $\sim 0,73^*$. Это значение превышает предполагаемое значение $\alpha_7 = 0,68$. Из выражения (16) видно, что это не зависит от величины средней квадратической ошибки, так как отношение $\frac{\Delta_x}{S_n}$ будет оставаться неизменным. Изменить

величину коэффициента Стьюдента может только изменение количества измерений n . Для шести измерений величина его будет равна $1,22$, для пяти – $1,12$. В таблице 4 [3] в четвертой строке (для $n = 5$) $t_{\alpha,5} = 1,12$ находится между столбцами с $\alpha_1 = 0,6$ ($t_{\alpha,5} = 0,94$) и $\alpha_2 = 0,7$ ($t_{\alpha,5} = 1,2$). Используя предположение, высказанное выше можно оценить $\alpha_5 \sim 0,64$.

Если случайная ошибка измерения линейного размера (доверительный интервал) равна удвоенной средней квадратической ошибке $2S_n = 0,0229$ мм, то $\Delta_x = 0,01145$ мм,

$$t_{\alpha,5} = \frac{\sqrt{5} \cdot 0,01145}{0,01145} = \frac{0,03389}{0,01145} = 2,961 \sim 3, \text{ а доверительная вероятность – соответственно } \alpha_2 \sim 0,92.$$

Если случайная ошибка измерения линейного размера (доверительный интервал) равен утроенной средней квадратической ошибке $3S_n = 0,03435$ мм, то $\Delta_x = 0,01145$ мм,

$$t_{\alpha,5} = \frac{\sqrt{5} \cdot 0,01145}{0,01145} = \frac{0,03389}{0,01145} = 2,961 \sim 3, \text{ а доверительная вероятность – соответственно } \alpha_3 \sim 0,97.$$

Полученные результаты подтверждают утверждения, приведенные выше.

Окончательный результат можно записать как $X = 7,425 \pm 0,006$ мм, для $\alpha_1 \sim 0,64$;

$$X = 7,425 \pm 0,012 \text{ мм, для } \alpha_2 \sim 0,92;$$

$$X = 7,425 \pm 0,017 \text{ мм, для } \alpha_3 \sim 0,97.$$

Коэффициент вариации

$$w = \frac{S_5}{\bar{X}} 100\% = \frac{0,012}{7,425} 100\% = 0,17\% .$$

* Зависит от точности таблиц, связывающих доверительные вероятности и коэффициенты Стьюдента.

Последняя запись означает, что действительное значение X лежит между значениями 7,408 и 7,442 мм с доверительной вероятностью 0,97, т.е. результаты около 97% всех измерений лежат внутри указанного интервала и только 3% всех измерений не войдут в него.

3. Правила округления погрешностей

Так как погрешность определения погрешности при 5 - 10 измерениях не выше 24 - 35%, то при записи окончательного ответа необходимо учитывать следующие соображения [3]. Если полученное число начинается с цифры 1 или 2, то отбрасывание второго знака приводит к очень большой ошибке (до 30 - 50%), это недопустимо. Если же полученное число начинается, например, с цифры 9, то сохранение второго знака, то есть указание погрешности, например, 0,94 вместо 0,9, является дезинформацией, так как исходные данные не обеспечивают такой точности.

Основываясь на этом можно сформулировать правила округления рассчитанного значения погрешности и полученного экспериментального результата измерения.

Правило 1: Округления производится лишь в окончательном ответе, все предварительные вычисления необходимо проводить с точностью на порядок высшей, чем измерительные операции, т.е. с одним-двумя лишними знаками.

Правило 2: Если абсолютная погрешность начинается с 1 или 2, например, 136; 2489; 0,01567; 0,00202; 0,1450, то оставляем две значащие цифры 140; 2500; 0,016; 0,0020; 0,15.

Правило 3: Если абсолютная погрешность начинается с 3 и более, например, 32; 456; 99; 0,98; 0,0791, то оставляем одну значащую цифру 30; 500; 100; 1; 0,08.

Правило 4: Среднее значение измеренной величины округляется до того же десятичного разряда, которым оканчивается округленное значение абсолютной погрешности.

Правило 5: Относительную погрешность, выраженную в процентах, достаточно записать двумя значащими цифрами*.

Пример: На вольтметре класса точности 2,5 с пределом измерений 300 В были произведены несколько повторных измерений одного и того же напряжения. При этом оказалось, что все замеры дали одинаковый результат 267,5 В.

Отсутствие различий между результатами измерений говорит о том, что случайная составляющая погрешности пренебрежимо мала, поэтому суммарная погрешность совпадает с систематической.

Сначала найдем абсолютную, а затем относительную погрешности. Абсолютная погрешность градуировки прибора равна:

$$\Delta_V = 300 \text{ В} \times \frac{2,5\%}{100\%} = 7,5 \text{ В} \approx 8 \text{ В}.$$

Окончательное значение абсолютной погрешности округляется до одной значащей цифры, так как первая значащая цифра абсолютной погрешности больше трех.

Относительная погрешность:

$$\delta_V = \frac{7,5 \text{ В}}{267,5 \text{ В}} \times 100\% = 2,804\% \approx 2,8\%.$$

В значении относительной погрешности должны быть сохранены два значащих разряда 2,8 %.

Окончательный результат записываем:

- $U_X = (268 \pm 8) \text{ В}$ при $\square_X = 2,8\%$.

4. Определение случайной ошибки при косвенном измерении физической величины

* Значащими цифрами называются все цифры, кроме нуля, а также и нуль в двух случаях:

- когда нуль стоит между значащими цифрами;
- когда нуль стоит в конце числа, если известно, что единиц соответствующего разряда в данном числе не имеется.

Для определения объема параллелепипеда сделано по $n = 10$ измерений каждой из его сторон a , b и c , в результате которых получены следующие средние значения и средние квадратические ошибки (в мм):

$$\begin{aligned}\bar{a} &= 4,31; & S_a &= 0,11 \\ \bar{b} &= 8,07; & S_b &= 0,13 \\ \bar{c} &= 5,33; & S_c &= 0,09.\end{aligned}$$

Определить абсолютную и относительную ошибки определения объема параллелепипеда для доверительной вероятности $\alpha = 0,8$.

1. Удобнее сразу воспользоваться формулой для относительной погрешности для $V = a \cdot b \cdot c$

$$\begin{aligned}\frac{S_V}{V} &= \sqrt{\left(\frac{S_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{S_c}{c}\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{0,11}{4,31}\right)^2 + \left(\frac{0,13}{8,07}\right)^2 + \left(\frac{0,09}{5,33}\right)^2} = \sqrt{0,0006 + 0,0003 + 0,0003} = \\ &= \sqrt{0,0012} = 0,035 \\ V &= 185 \text{ мм}^3.\end{aligned}$$

Для $n = 10$ и доверительной вероятности $\alpha = 0,8$ определим доверительный интервал Δ_V . По таблице 2 для $n = 10$ определим коэффициент Стьюдента ($t_{0,8;10} = 1,4$).

Имея в виду $\frac{S_V}{V} = 0,035$ и соотношение (17) находим

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{t_{\alpha,n} S_V}{V \sqrt{n}} = \frac{1,4 \cdot 0,035}{3,16} = 0,016.$$

Отсюда $\Delta V = 185 \cdot 0,016 = 2,97 \sim 3 \text{ мм}^3$.

2. Можно поступить иначе. Определить среднюю квадратическую ошибку для функции $V = \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot \bar{c}$

$$\begin{aligned}S_V &= \sqrt{(bcS_a)^2 + (abS_c)^2 + (acS_b)^2} = \sqrt{4,73^2 + 3,13^2 + 2,99^2} = \\ &= \sqrt{22,37 + 9,8 + 8,92} = \sqrt{41,09} = 6,41 \approx 6,4 \text{ мм}^3.\end{aligned}$$

Используя $t_{\alpha,n} = 1,4$ и выражение (17) находим Δ_V

$$\Delta_V = t_{\alpha,n} \frac{S_n}{\sqrt{n}} = \frac{1,4 \cdot 6,41}{\sqrt{10}} = \frac{8,97}{3,16} = 2,84 \approx 3 \text{ мм}^3.$$

Окончательный ответ для $\alpha = 0,8$ записываем

$$V = 185 \pm 3 \text{ мм}^3 \quad w_V = \frac{S_V}{V} \cdot 100\% = 3,5\%.$$

5. Электрические измерения физических величин

Задача 1: Найти абсолютную погрешность измерения напряжений $U_1 = 40 \text{ В}$ и $U_2 = 80 \text{ В}$ вольтметром со шкалой $0 \div 100 \text{ В}$ если его погрешность определяется

$$\text{соотношением } \delta = \pm \left[0,2 + 0,05 \left(\left| \frac{X_k}{X} \right| - 1 \right) \right] \%.$$

Вариант 1: На основании соотношения (58)

1) Для $U_1 = 40 \text{ В}$

$$\begin{aligned}\delta_1 &= \pm \left[0,2 + 0,05 \left(\left| \frac{X_k}{X} \right| - 1 \right) \right] \% = \pm \left[0,2 + 0,05 \left(\left| \frac{100}{40} \right| - 1 \right) \right] \% = \\ &= \pm [0,2 + 0,05(2,5 - 1)] \% = \pm (0,2 + 0,05 \cdot 1,5) \% = \pm (0,2 + 0,075) \% = \pm 0,275 \% \approx \pm 0,28 \%\end{aligned}$$

$$\Delta_1 = \pm \frac{\delta_1 \cdot U_1}{100} = \pm \frac{0,28\% \cdot 40B}{100\%} = \pm 0,112B \approx \pm 0,11B$$

2) Для $U_2 = 80B$

$$\begin{aligned} \delta_2 &= \pm \left[0,2 + 0,05 \left(\left| \frac{X_\kappa}{X} \right| - 1 \right) \right] \% = \pm \left[0,2 + 0,05 \left(\left| \frac{100}{80} \right| - 1 \right) \right] \% = \\ &= \pm [0,2 + 0,05(1,25 - 1)] \% = \pm (0,02 + 0,05 \cdot 0,25) \% = \\ &= \pm (0,2 + 0,0125) \% = \pm 0,2125 \% \approx \pm 0,21\% \\ \Delta_2 &= \pm \frac{\delta_2 \cdot U_2}{100} = \pm \frac{0,21\% \cdot 80B}{100\%} = \pm 0,168B \approx \pm 0,17B \end{aligned}$$

Вариант 2: На основании соотношений (55) и (60)

1) Для $U_1 = 40B$ $c = 0,02$; $d = 0,005$; $X_\kappa = 100B$; $X = 40B$.

$$a = dX_\kappa/100 = 0,05 \cdot 100/100 = 0,05B;$$

$$b = (c - d)/100 = (0,2 - 0,05)/100 = 0,0015$$

$$\Delta_1 = \pm (a + bX) = \pm (0,05 + 0,0015 \cdot 40) = \pm (0,05 + 0,06) = \pm 0,11B$$

2) Для $U_2 = 80B$ $c = 0,02$; $d = 0,005$; $X_\kappa = 100B$; $X = 80B$.

$$a = dX_\kappa/100 = 0,05 \cdot 100/100 = 0,05B;$$

$$b = (c - d)/100 = (0,2 - 0,05)/100 = 0,0015$$

$$\Delta_2 = \pm (a + bX) = \pm (0,05 + 0,0015 \cdot 80) = \pm (0,05 + 0,12) = \pm 0,17B$$

Задача 2: Каким классом точности должен обладать вольтметр для того, чтобы обеспечить относительную погрешность измерения напряжения $U = 80B$ не более 0,7 %.

Прибор имеет шкалу $0 \div 100B$ ($U_\kappa = 100B$). Мультипликативная составляющая абсолютной погрешности в два раза больше аддитивной.

Решение: Определим абсолютную погрешность измерения $U = 80B$ на прибором со шкалой $0 \div 100B$

$$\Delta = \frac{\delta \cdot U}{100} B = \frac{0,7 \cdot 80}{100} = 0,56 \approx \pm 0,6B.$$

Исходя из этого аддитивная составляющая равна

$$\Delta_0 = \frac{\Delta}{3} = \frac{1,2}{3} = \pm 0,2B,$$

а мультипликативная составляющая –

$$\gamma_s X = bX = \frac{2}{3} \Delta = \pm 0,4B.$$

Имея в виду, что $a = \frac{dX_\kappa}{100}$, а $b = \frac{c - d}{100}$ находим c и d

$$d = \frac{100a}{X_\kappa} = \frac{0,2}{100} = 0,002, \quad b = \frac{\gamma_s X}{X} = \frac{0,4}{80} = 0,005,$$

$$c = 100b + d = 0,005 \cdot 100 + 0,002 = 0,502.$$

Класс точности записывается как отношение

$$c/d = 0,502/0,002.$$

Задача 3: Каким классом точности должен обладать вольтметр для того, чтобы обеспечить относительную погрешность измерения напряжения $U = 80B$ не более 1,0%.

Прибор имеет шкалу $0 \div 100B$. Класс точности на корпусе прибора обозначается одним числом.

Решение: Определим абсолютную погрешность измерения $U = 80B$ если $\delta = 1,0\%$

$$\Delta = \frac{\delta \cdot U}{100} B = \frac{1,0 \cdot 80}{100} = 0,8B.$$

Форма выражения погрешности измерительного прибора – приведенная, отсюда

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_n} 100\% = \frac{0,8}{100} 100\% = 0,8\% .$$

Для того, чтобы относительная погрешность измерения напряжения $U = 80$ В была не хуже 1,0% класс точности должен быть ближайшего нижнего разряда ряда ... 0,2; 0,5; 1,0; ..., т.е. 0,5.

Задача 4: Определить абсолютную и относительную погрешности измерения $U_1 = 100$ В, если абсолютная погрешность измерения $U_2 = 240$ В равна 2 В.

Прибор имеет шкалу (предел измерения) $0 \div 300$ В. Аддитивная и мультипликативная составляющие абсолютной погрешности имеют одинаковую величину.

Решение: Если при измерении $U_2 = 240$ В абсолютная погрешность $\Delta_2 = 2$ В, то ее составляющие аддитивная $\Delta_0 = 1$ В и мультипликативная $\gamma_s X = bX = 1$ В.

Используя соотношения $a = \frac{dX_k}{100}$ и $b = \frac{c-d}{100}$ определим величины c и d , а также b для определения мультипликативной составляющей абсолютной погрешности измерения $U_1 = 100$ В

$$b = \frac{bX}{X} = \frac{1B}{240B} = 0,00416 \approx 0,0042 ,$$

$$d = \frac{a}{X_k} 100 = \frac{1B}{300B} 100 = 0,33 ,$$

$$c = 100b + d = 0,0042 \cdot 100 + 0,33 = 0,42 + 0,33 = 0,75$$

$$\Delta_1 = \pm(\Delta_0 + bU_1) = \pm(1 + 0,0042 \cdot 100)B = \pm 1,42B \approx \pm 1,4B ,$$

$$\begin{aligned} \delta &= \pm \left[0,75 + 0,33 \left(\left| \frac{300}{100} \right| - 1 \right) \right] \% = \pm (0,75 + 0,33 \cdot 2,0) \% = \\ &= \pm (0,75 + 0,66) \% = 1,41 \% \approx \pm 1,4 \% \end{aligned}$$

Задача 5: Найти абсолютную погрешность измерения напряжения $U = 25$ В вольтметром со шкалой $U_k = 30$ В если его класс точности записывается как 0,2/0,02.

Решение: Абсолютная погрешность вольтметра содержит аддитивную и мультипликативную составляющие $\Delta = \pm(a + bX)$.

$$\text{Известно, что } b = \frac{c-d}{100}, \text{ а } a = \frac{dX_k}{100} .$$

Отсюда

$$b = \frac{0,2 - 0,02}{100} = \frac{0,18}{100} = 0,0018 , \text{ а } a = \frac{0,02 \cdot 30}{100} = \frac{6}{100} = 0,006$$

поэтому

$$\Delta = 0,006 + 0,0018 \cdot 25 = 0,006 + 0,045 = \pm 0,051B .$$

2.3. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение рейтинговой аттестации работы студентов

Примеры вопросов и задач, используемых при оценке уровня освоения компетенций в категориях знать, уметь, владеть.

Полусеместровая аттестация

Метрология:

1. Определите основное понятие и предмет метрологии.
2. Укажите три раздела метрологии. По какому признаку проводится классификация разделов метрологии?
3. Что отличает метрологию от других естественных наук (физики, химии)?

Измерение физических величин:

1. Измерение физических величин: определение, задачи, примеры (показать форму записи результата измерения физической величины).
2. Дать определения измеренному, истинному и действительному значению физической величины.
3. Прямые измерения (определение, форма выражения - математическая запись, аппаратные средства, примеры).
4. Косвенные измерения (определение, форма выражения – математическая запись, аппаратные средства, примеры).
5. Методы измерения (определения, классификация методов измерения, примеры).
6. Нулевой метод измерения физических величин (определение, примеры). К какой классификационной группе методов измерения принадлежит?
7. Дифференциальный метод измерения физических величин (определение, примеры). К какой классификационной группе методов измерения принадлежит?
8. Метод замещения (определение, примеры). К какой классификационной группе методов измерения принадлежит?
9. Метод совпадений (определение, примеры). К какой классификационной группе методов измерения принадлежит?

Ошибки измерения физических величин:

1. Погрешность измерения как совокупность систематической и случайной составляющих (определение, примеры).
2. Правила округления погрешностей (проиллюстрировать на примерах когда абсолютная погрешность выражена целыми числами).
3. Правила округления полученного экспериментального результата (проиллюстрировать на примерах когда абсолютная погрешность выражена целыми числами).
4. Действительное значение физической величины. Как действительное значение физической величины определяется на практике (привести пример).
5. Относительная погрешность измерений (определение, свойства, единицы измерения).
6. Абсолютная погрешность измерения физической величины. Определение. Что необходимо знать для определения абсолютной погрешности?
7. Грубые ошибки (промахи). Определение, способы выявления, примеры.
8. Случайные ошибки (определение, способы расчета и форма записи, свойства, примеры).
9. Ошибки первого и второго рода, области их проявления (определение, примеры).
10. Закон сложения систематических ошибок.
11. Закон сложения случайных ошибок.
12. Случайная ошибка. Стандартная ошибка (определение, способ расчета, примеры).
13. Систематические ошибки (определение, способ расчета, примеры).
14. Как на практике производится выбор метода определения погрешности измеряемой величины (привести примеры).
15. Правила сложения систематической и случайной ошибок (написать формулы для доверительной вероятности $\alpha=0,68$; $0,95$ и $0,997$).

Измерительные приборы:

1. Средства электрических измерений (общее определение класса измерительных приборов, классификация по виду, примеры).
2. Средства электрических измерений. Меры. Определение. Виды мер. Примеры.
3. Электроизмерительные приборы. Определение. Способы классификации измерительных приборов. Примеры.
4. Электроизмерительные установки. Определение. Виды электроизмерительных установок. Примеры.

5. Измерительные информационные системы. Определение. Виды измерительных информационных систем. Примеры.
6. Метрологические характеристики электроизмерительных приборов. Определение. Примеры.
7. Меры. Определение. Виды мер. Примеры (по классификации средств электрических измерений).
8. Мультипликативная и аддитивная составляющие абсолютной погрешности измерительного прибора (определения, виды проявления и способы определения и сложения).
9. Измерительные преобразователи. Определение. Виды измерительных преобразователей. Примеры.

Примеры и задачи:

1. Рассчитать абсолютную (Δ) и относительную (δ) погрешности определения длины окружности $l_{окр} = 2\pi R$, если известны значения $R = (100,00 \pm 2,55)$ мм и $\pi = 3,14 \pm 0,005$.

Рассмотреть и сравнить два случая: ошибка измерения определяется систематическими погрешностями ($\Delta_R = \pm 2,55$ мм, $\Delta_\pi = \pm 0,005$); ошибка измерения определяется случайными погрешностями ($S_{nR} = 2,55$ мм, $S_{n\pi} = 0,005$), $n = 5$, $\alpha = 0,9$.

Результат записать, используя правила округления погрешностей измерения физических величин.

2. Рассчитать абсолютную (Δ) и относительную (δ) ошибки определения площади окружности $S_{окр} = \pi R^2$, если $R_{окр} = (12,00 \pm 0,35)$ м, а $\pi = 3,14 \pm 0,005$.

Рассмотреть и сравнить два случая: ошибка измерения определяется систематическими погрешностями ($\Delta_R = \pm 0,35$ м, $\Delta_\pi = \pm 0,005$); ошибка измерения определяется случайными погрешностями ($S_R = 0,35$ м, $S_\pi = \pm 0,005$), $n = 5$, $\alpha = 0,9$.

Результат записать, используя правила округления погрешностей измерения физических величин.

3. Два тела движутся навстречу друг другу со скоростями $V_1 = (90,0 \pm 5,5) \frac{\text{км}}{\text{час}}$ и $V_2 = (150,0 \pm 12,5) \frac{\text{км}}{\text{час}}$. Рассчитать абсолютную (Δ или S) и относительную (δ) погрешности определения относительной скорости тел $V_{отн} = V_1 + V_2$.

Рассмотреть и сравнить два случая: ошибка измерения определяется систематическими погрешностями ($\Delta_{V1} = \pm 5,5 \frac{\text{км}}{\text{час}}$, $\Delta_{V2} = \pm 12,5 \frac{\text{км}}{\text{час}}$; ошибка измерения определяется случайными погрешностями ($S_{V1} = 5,5 \frac{\text{км}}{\text{час}}$, $S_{V2} = \pm 12,5 \frac{\text{км}}{\text{час}}$), $n = 5$, $\alpha = 0,9$.

Результат записать, используя правила округления погрешностей измерения физических величин.

4. Рассчитать абсолютную (Δ или S) и относительную (δ) ошибки определения объема куба $V = a^3$, если $a = (150,00 \pm 1,25)$ см.

Рассмотреть и сравнить два случая: ошибка измерения определяется систематическими погрешностями ($\Delta_a = \pm 1,25$ см); ошибка измерения определяется случайными погрешностями ($S_a = 1,25$ см), $n = 10$, $\alpha = 0,6$.

Результат записать, используя правила округления погрешностей измерения физических величин.

5. Рассчитать абсолютную (Δ или S) и относительную (δ) ошибки определения плотности тела $\rho = \frac{m}{V}$ (где m – масса тела, а V – его объем), если $m = (120,52 \pm 1,25)$ г, $V = (2,50 \pm 0,25)$ см³.

Рассмотреть и сравнить два случая: ошибка измерения определяется систематическими погрешностями ($\Delta_m = \pm 1,25$ г, $\Delta_V = \pm 0,25$ см³); ошибка измерения определяется случайными погрешностями ($S_m = 1,25$ г, $S_V = 0,25$ см³), $n = 5$, $\alpha = 0,9$.

Результат записать, используя правила округления погрешностей измерения физических величин.

6. Рассчитать абсолютную (Δ или S) и относительную (δ) ошибки определения объема цилиндра $V = \frac{\pi D^2 h}{4}$, если $D = (150,0 \pm 5,5)$ мм, $h = (250,0 \pm 4,5)$ мм, $\pi = (3,14 \pm 0,005)$.

Рассмотреть и сравнить два случая: ошибка измерения определяется систематическими погрешностями ($\Delta_D = \pm 5,5$ мм, $\Delta_h = \pm 4,5$ мм, $\pi = (3,14 \pm 0,005)$); ошибка измерения определяется случайными погрешностями ($S_D = 5,5$ мм, $S_h = 4,5$ мм, $S_\pi = 0,005$), $n = 5$, $\alpha = 0,6$.

Результат записать, используя правила округления погрешностей измерения физических величин.

7. Рассчитать абсолютную (Δ или S) и относительную (δ) ошибки определения скорости перемещения тела $V = \frac{S}{t}$, если $S = (120,5 \pm 2,5)$ км и $t = (1,55 \pm 0,25)$ часа.

Рассмотреть и сравнить два случая: ошибка измерения определяется систематическими погрешностями ($\Delta_S = \pm 2,5$ км, $\Delta_t = \pm 0,25$ часа); ошибка измерения определяется случайными погрешностями ($S_S = 2,5$ км, $S_t = 0,25$ часа), $n = 5$, $\alpha = 0,6$.

Результат записать, используя правила округления погрешностей измерения физических величин.

8. Рассчитать абсолютную (Δ или S) и относительную (δ) ошибки определения объема шара $V = \frac{4}{3} \pi R^3$, если $R = (12,25 \pm 0,35)$ см.

Рассмотреть и сравнить два случая: ошибка измерения определяется систематическими погрешностями ($\Delta_R = \pm 0,35$ см); ошибка измерения определяется случайными погрешностями ($S_R = 0,35$ см), $n = 5$, $\alpha = 0,6$.

Результат записать, используя правила округления погрешностей измерения физических величин.

9. Рассчитать абсолютную (Δ или S) и относительную (δ) погрешность определения ускорения тела $a = \frac{S}{t^2}$, если известны значения $S = (110,0 \pm 1,5)$ м и $t = (10,5 \pm 0,5)$ сек.

Рассмотреть и сравнить два случая: ошибка измерения определяется систематическими погрешностями ($\Delta_S = \pm 1,5$ м, $\Delta_t = \pm 0,5$ сек); ошибка измерения определяется случайными погрешностями ($S_S = 1,5$ м, $S_t = 0,5$ сек), $n = 10$, $\alpha = 0,9$.

Результат записать, используя правила округления погрешностей измерения физических величин.

Семестровая аттестация

Электроизмерительные приборы (определения и свойства):

1. Метрологические характеристики электроизмерительных приборов. Определение. Примеры.
2. Абсолютная погрешность электроизмерительного прибора. Способы выражения – математическая запись, единицы измерения.

3. Абсолютные погрешности меры, электроизмерительного прибора и измерительного преобразователя. Определения.
4. Чувствительность и постоянная измерительного прибора (определение, единицы измерения).
5. Чувствительность и порог чувствительности измерительного прибора. Определения. Применение понятия.
6. Чем отличаются электроизмерительные приборы, абсолютные погрешности которых находятся из соотношений $\Delta = \pm a$ и $\Delta = \pm(a + bx)$.
7. Допустимая приведенная основная погрешность γ электроизмерительного прибора (определение, свойства, единицы измерения). Привести пример.
8. Сходство и различие между относительной и приведенной основной погрешностями электроизмерительных приборов.
9. Мультипликативная и аддитивная составляющие абсолютной погрешности измерительного прибора (определения, виды проявления и способы определения и сложения).
10. Чем отличаются электроизмерительные приборы, относительная погрешность которых определяется соотношениями $\delta = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{X_k}{x} \right| - 1 \right) \right] \%$ и $\delta = \pm \left(c + d \left| \frac{X_0}{x} - 1 \right| \right) \%$.
11. Как обозначается класс точности электроизмерительного прибора, погрешность которого определяется соотношением $\delta = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{X_k}{x} \right| - 1 \right) \right] \%$.
12. Как записывается класс точности вольтметра универсального В7-22 основная погрешность измерения напряжения, для которого задается выражением $\delta = \pm \left(0,15 + 0,2 \frac{U_k}{U_x} \right) \%$?
13. На какие группы делятся электроизмерительные приборы по классам точности (ответ сопроводить примерами).
14. Дать определение понятию класс точности измерительного прибора (привести примеры).
15. Какова форма выражения погрешности для электроизмерительного прибора класса точности 1,5 (обозначение на средстве измерений).
16. Какова форма выражения погрешности для электроизмерительного прибора класса точности $\textcircled{1,0}$ (обозначение на средстве измерений).
17. Какова форма выражения погрешности измерительного прибора, если класс точности электроизмерительного прибора обозначен как 0,04/002? Написать выражение для расчета величины погрешности.
18. На какие группы делятся электроизмерительные приборы по классам точности (ответ сопроводить примерами).
19. К какому классу точности можно отнести приборы с наибольшей приведенной основной погрешностью 5,0 и 6,0 %.
20. Приборы имеют наибольшую приведенную основную погрешность $\gamma = 0,12; 0,6; 2,0; 3,0$ и 5 %. Какие классы точности можно приписать этим электроизмерительным приборам.
21. Какой погрешностью могут обладать измерительные приборы, класс точности которых записан в паспорте как 0,1; 1,0 и 1,5?

Задачи:

1. Каким классом точности должен обладать вольтметр для того, чтобы обеспечить относительную погрешность измерения напряжения $U = 80$ В не более 1,0%.

Прибор имеет шкалу $0 \div 100$ В. Класс точности на корпусе прибора обозначается одним числом.

2. Каким классом точности должен обладать вольтметр, обеспечивающий относительную погрешность измерения напряжения $U = 80$ В не хуже 2,6%.

Прибор имеет шкалу (предел измерения) $0 \div 100$ В. Мультипликативная составляющая абсолютной погрешности в два раза больше, чем аддитивная.

3. Вольтметр класса точности 0,5/0,05 позволяет измерять напряжение до $U_k = 500$ В. Определить относительную погрешность измерения напряжения $U_1 = 200$ В и $U_2 = 400$ В если предел допускаемой погрешности имеет наименьшее значение при достижении измеряемой величиной значения равного 350 В.
4. Каким классом точности должен обладать вольтметр, позволяющий измерить напряжение $U = 80$ В с абсолютной погрешностью $\Delta = 0,6$ В.

Прибор имеет шкалу (предел измерения) $0 \div 100$ В. Аддитивная составляющие абсолютной погрешности в два раза больше мультипликативной.

5. Найти абсолютную погрешность измерения тока $I = 9$ А амперметром со шкалой $0 \div 10$ А, если класс точности на его корпусе обозначен как . 1,5
6. Найти относительную погрешность измерения величины тока $I = 9$ А амперметром со шкалой 10 А, класс точности которого обозначается как 0,2/0,1.
7. Найти относительную погрешность измерения величины тока $I = 9$ А амперметром со шкалой 10 А, класс точности которого обозначается как 0,02/0,005.
8. Определить максимальную абсолютную погрешность для вольтметра класса точности 2,5 со шкалой $50 \div 150$ В.

9. Найти и сравнить абсолютную и относительную погрешности измерения напряжения $U_1 = 30$ В и $U_2 = 90$ В вольтметром со шкалой (пределом измерения) $0 \div 100$ В, если

$$\text{форма выражения погрешности прибора } \delta = \pm \left[0,2 + 0,05 \left(\left| \frac{U_k}{U_i} \right| - 1 \right) \right] \% .$$

10. Найти и сравнить абсолютную и относительную погрешности измерения напряжения $U_1 = 30$ В и $U_2 = 90$ В вольтметром со шкалой (пределом измерения) $0 \div 100$ В если форма выражения погрешности прибора $\delta = \pm \left(0,15 + 0,2 \frac{U_k}{U_i} \right) \% .$

Выделить мультипликативную и аддитивную составляющие абсолютной погрешности.

11. Определить абсолютную и относительную погрешности измерения $U_1 = 100$ В, если абсолютная погрешность измерения $U_2 = 240$ В равна 6 В.

Прибор имеет шкалу (предел измерения) $0 \div 300$ В. Аддитивная и мультипликативная составляющие абсолютной погрешности имеют равную величину.

Организационно-правовые основы метрологической деятельности

1. Структура построения Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ).
2. Объекты Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ).
3. Субъекты метрологической деятельности в Российской Федерации.
4. Международные метрологические организации.
5. Система передачи размера единицы физической величины средствами измерения. Поверочные схемы. Точность предписанной процедуры. Эталоны.
6. Государственный метрологический контроль и надзор, сферы деятельности.
7. Государственный метрологический контроль и надзор. Три вида контроля и три вида надзора.
8. Порядок утверждения типа СИ включает в себя: 1), 2),
9. Поверка средств измерений. Поверительное клеймо. Виды поверок.

10. Сертификация средств измерений (структура, порядок проведения, характер и задачи).

Стандартизация

1. Дайте определение термину «стандартизация».
2. Назовите общие цели стандартизации.
3. Дайте определение аспекта стандартизации, привести примеры (не менее пяти).
4. Дайте общее понятие уровня стандартизации, привести пример построения классификации. При стандартизации на каком уровне участие открыто для любой страны?
5. Дайте общее понятие уровня стандартизации. Какой уровень стандартизации используется в одном государстве?
6. Какие виды стандартизации различают в зависимости от сферы действия стандартов?
7. Стандарт (определение, основные функции стандарта как нормативного документа, виды стандартов).
8. Основные цели стандартизации ...
9. Стратегическими целями развития национальной системы стандартизации являются ...
10. Теоретическая база и методы современной стандартизации.
11. Организационная структура стандартизации в РФ и ее структура.
12. Международные организации по стандартизации.

Сертификация

1. Дайте определение термину «сертификация».
2. Назовите цели сертификации.
3. Может ли СИ быть объектом сертификации?
4. Основные определения и понятия в области оценки соответствия и сертификации.
5. Какая наука занимается измерением и количественной оценки качества всевозможных предметов и процессов?
6. Дайте определение качеству.
7. Что отражают эргономические показатели качества?
8. Какие показатели качества определяет надежность?
9. Назовите 4 объективных метода определения качества.
10. В какую группу методов определения качества входит экспертный метод?
11. Назовите метод определения качества, основанный на получении информации расчетом.
12. На чем основан социологический метод определения качества?

Задачи:

1. В результате поверки амперметра с верхним пределом измерения $U_k=30$ А получены следующие значения электрического тока ($I_{изм}$) при эталонных значениях тока ($I_{эт}$):

$I_{этал}, А$	5	10	15	20	25
$I_{изм}, А$	4,8	10,3	15,2	19,7	25,4

Может ли метролог выдать на прибор свидетельство о поверке, если класс точности прибора обозначен как 2,5 (ответ подтвердите математическим неравенством и графически)?

2. В результате поверки амперметра с верхним пределом измерения 60 А получены следующие значения электрического тока ($I_{изм}$) при эталонных значениях тока ($I_{эт}$):

$I_{эт}$	7,0	15,0	21,0	28,0	45,0
$I_{изм}$	6,9	15,2	21,1	27,8	45,1

Допустимо ли метрологу выдать на прибор свидетельство о поверке, если форма выражения погрешности измерительного прибора приведенная, т.е. $\gamma = 0,5\%$ во всем диапазоне измерения? Ответ подтвердите математическим неравенством и графически.

3. Номинальное напряжение в электрической сети $U_n = 220$ В, имеет разрешенные отклонения $\Delta U \pm 10\%$. Необходимо ли скорректировать величину напряжения, если измеренное значение $U_{изм} = 199$ В? Точность измерения напряжения не хуже $\Delta U_{изм} = 0,5$ В. Ответ обоснуйте математическим неравенством.
4. При измерении мирового рекорда на спринтерской дистанции 100 м использовался электронный секундомер с относительной инструментальной погрешностью 0.2 %. Можно ли уверенно утверждать, что время 8.70 с является новым мировым рекордом, если время действующего мирового рекорда равно (8.745 ± 0.001) с (ответ обоснуйте математическим неравенством)?
5. Для проверки работоспособности омметра класса точности 0,5 (форма выражения погрешности - приведенная $\gamma = 0,5\%$) на пределе измерения с $R_k = 300$ Ом провели измерение сопротивления с номинальным значением $R_n = (250 \pm 0,1)$ Ом. В результате измерения получено значение $R_u = 249,3$ Ом. Необходимо ли отправить омметр на внеочередную поверку (ответ подтвердите математическим неравенством)?

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАЧЕТУ

При подготовке к зачету пользоваться вопросами для рубежного контроля (см. раздел «Требования к рейтинг-контролю»), а также контрольными вопросами (раздел «Планы и методические указания»).

VIII. Перечень педагогических и информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (по необходимости)

1. Microsoft Office 365 pro plus
2. Microsoft Windows 10 Enterprise
3. Google Chrome
4. MiKTeX 2.9

IX. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Наименование специальных* помещений	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Лекционная аудитория № 226 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	1 Микшерный пульт Yamaha MG-124C 2 Аудиокомплект (мик. пульт, акуст. усилитель, акуст. система, радиосистема) 3 Интерактивная система SMART Board 660i4 4 Мультимедийный проектор Epson EB-4850WU с потолочным креплением 5 Телекоммуникационный шкаф ШТК-М-18.6.6-3AAA с полками	Google Chrome – бесплатно Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017

	<p>6 Телекоммуникационный шкаф ШТК-М-18.6.6-3AAA с полками</p> <p>7 Экран настенный ScreenMedia 213*213 (M082-08156)</p> <p>8 Компьютер iRU Corp 510 15-2400/4096/500/G210-512/DVD-RW/W7S/монитор E-Machines E220HQVB 21,5''</p> <p>9 Комплект учебной мебели на 110 посадочных мест</p>	
<p>Учебно-научная лаборатория магнитных и электрических измерений № 40 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>Вольтметр В7-78/1</p> <p>Экран настенный ScreenMedia 153*203</p> <p>Контроллер GPIB-USB-HS 778927-01</p> <p>Сканер для вольтметра В7-78/1</p> <p>Сканер для вольтметра В7-78/1</p> <p>Двухфазный Lock-in усилитель SR 830</p> <p>Двухфазный Lock-in усилитель SR 830</p> <p>Компьютер iRU Corp 510 15-2400/4096/500/G210-512/DVD-RW/W7S/монитор E-Machines E220HQVB 21.5"</p> <p>Установка "Мишень"</p> <p>Системный блок P4 1.6 512/ASUS P4B266/DDR2*512/80Gb</p> <p>ST380021A(2ШТ)+клавиатура+мышь</p> <p>Мультиметр цифровой высокой точности UT804</p> <p>Мультиметр цифровой высокой точности UT804</p> <p>Комплект мультимедийной техники.</p>	<p>MS Office 365 pro plus – Акт предоставления прав № Tr041167 от 24.08.2016;</p> <p>MS Windows 10 Enterprise – Акт предоставления прав № Sk000195 от 12.07.2016</p> <p>Google Chrome – бесплатное ПО;</p> <p>MATLAB R2012b – Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012;</p> <p>Mathcad 15 M010 – Акт предоставления прав ИС00000027 от 16.09.2011;</p>

Помещения для самостоятельной работы:

1. Наименование помещений	Оснащенность помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
<p>Помещение для самостоятельной работы, учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ),</p>	<p>1. Компьютер RAMEC STORM C2D 4600/160Gb/ 256mB/DVD-RW +Монитор LG TFT 17" L1753S-SF – 12 шт</p> <p>2. Мультимедийный комплект учебного класса (вариант № 2) Проектор Casio XJ-M140, настенный проекц. экран Lumien 180*180. ноутбук Dell N4050. сумка 15,6", мышшь</p> <p>3. Коммутатор D-Link</p>	<p>Adobe Acrobat Reader DC - бесплатно</p> <p>Cadence SPB/OrCAD 16.6 - Государственный контракт на поставку лицензионных программных продуктов 103 - ГК/09 от 15.06.2009</p> <p>Google Chrome - бесплатно</p> <p>Java SE Development Kit 8 Update 45 (64-bit) - бесплатно</p> <p>Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав</p>

<p>групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, практики, Компьютерный класс физико-технического факультета. Компьютерная лаборатория робототехнических систем №4а (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>10/100/1000mbps 16-port DGS-1016D 4. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО 5. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО 6. Демонстрационное оборудование комплект «LegoMidstormsEV3» 7. Комплект учебной мебели</p>	<p>№2129 от 25 октября 2016 г. Lazarus 1.4.0 - бесплатно Lego MINDSTORM EV3 - бесплатно Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав ИС00000027 от 16.09.2011 MATLAB R2012b - Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012 Microsoft Express Studio 4 - бесплатно MiKTeX 2.9 - бесплатно MPICH 64-bit - бесплатно MSXML 4.0 SP2 Parser and SDK - бесплатно Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p>
--	--	---

Х. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины (или модуля)	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания кафедры, утвердившего изменения
1.	Раздел IV	Реквизиты «Положения о рейтинговой системе обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ» и «Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
2.	Раздел IX	Оснащенность аудиторного фонда для проведения учебных занятий и самостоятельной работы студентов согласно «Справки МТО ООП ...»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.