

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТОВАРОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам по курсам «Общая теория измерений», «Метрология, стандартизация и сертификация» и «Стандартизация, метрология и сертификация» для студентов специальностей 200503 Стандартизация и сертификация, 080401 Товароведение и экспертиза товаров, 080301 Коммерция (торговое дело) и 220501 Управление качеством

Иваново 2004

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«Ивановская государственная текстильная академия»
(ИГТА)**

Кафедра материаловедения и товароведения

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТОВАРОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам по курсам «Общая теория измерений», «Метрология, стандартизация и сертификация» и «Стандартизация, метрология и сертификация» для студентов специальностей 200503 Стандартизация и сертификация, 080401 Товароведение и экспертиза товаров, 080301 Коммерция (торговое дело) и 220501 Управление качеством

Иваново 2004

Данные методические указания предназначены для студентов специальностей 220501, 080401, 080301 и 200501 с целью оказания помощи при подготовке и выполнении лабораторных работ, связанных с изучением основ метрологической деятельности в процессах производства и реализации текстильных материалов и других потребительских товаров. Данные методические указания содержат сведения, касающиеся определения качества процесса измерения в целом и погрешности (точности) средств измерения в частности.

Приводится информация о видах измерений, форме представления и способах расчета погрешности прямых и косвенных измерений, правилах обработки результатов многократных измерений, а также различных нормативных документах, применяемых в практике метрологических служб, и правилах их разработки.

Составители: д-р техн. наук, проф. Б.Н. Гусев
канд. техн. наук А.Ю. Матрохин

Научный редактор д-р техн. наук, проф. Н.А. Кулида

Научный редактор Н.А. Кулида

Редактор Т.В. Федорова

Корректор Н.Г. Кузнецова

Лицензия ИД № 06309 от 19. 11. 2001. Подписано в печать 16.09.2004.
Формат 1/16 60×84. Бумага писчая. Плоская печать. Усл. печ. л. 3,25.
Уч.-изд. л. 3,10. Тираж 150 экз. Заказ № 3821

Редакционно-издательский отдел
Ивановской государственной текстильной академии
Участок оперативной полиграфии
153000, г. Иваново, пр. Ф. Энгельса, 21

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время предприятия, которые стремятся к долговременному лидерству на рынке, направляют свои усилия на повышение качества выпускаемых товаров и предоставляемых услуг и их конкурентоспособности. Одним из условий достижения заданного уровня конкурентоспособности является создание и эффективное функционирование системы менеджмента качества (СМК) организации в соответствии с требованиями международных стандартов ИСО серии 9000. основополагающий стандарт МС ИСО 9001-2000 регламентирует требования к процессам разработки СМК, процессам менеджмента организации, процессам жизненного цикла продукции, а также к процессам измерения, анализа и улучшения качества продукции и деятельности организации в целом. Метрологическое обеспечение занимает особое место среди процессов жизненного цикла продукции, так как получение достоверной информации о показателях свойств сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, параметрах работы оборудования является основой для принятия оптимальных решений в области качества.

Комплекс работ по метрологическому обеспечению качества продукции включает три основных направления. Первое направление связано с правовым регулированием работ, проводимых физическими и юридическими лицами, а также органами исполнительной власти и международными организациями, касающихся достижения требуемой точности и единства измерений. Это направление носит название *законодательной метрологии*. Второе направление предусматривает поиск и разработку фундаментальных положений, с целью совершенствования терминологической базы метрологии, научного обоснования единиц физических величин и методов их измерений, а также повышения точности передачи размеров единиц физических величин от эталонов к рабочим средствам измерений. Это направление называется *теоретической метрологией*. Третье направление (*практическая метрология*) предполагает меры по реализации законодательных и теоретических положений в повседневной деятельности метрологических служб предприятий и организаций.

С введением Закона РФ «Об обеспечении единства измерений» начался новый этап развития метрологии, характеризующийся переходом от административного принципа управления метрологической деятельностью к законодательному. Вместе с тем сохраняется государственный характер метрологического дела при значительной степени гармонизации российской системы измерений с международной практикой. Это выражается в том, что в России сегодня действуют не только государственные метрологические организации, но и службы юридических лиц, а также коммерческие метрологические службы.

Уже сейчас по мере развития отечественной экономики возникает острая необходимость в подготовке специалистов, обладающих знаниями и навыками в области метрологического обеспечения. Поэтому материал, содержащийся в данной работе, будет полезен для студентов, обучающихся по соответствующим специальностям.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДА И КЛАССА ТОЧНОСТИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

Цель работы: изучить виды средств измерений и требования к установлению их класса точности.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Под средством измерений (СИ) понимают техническое средство (или их комплекс), предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимается неизменным в пределах установленной погрешности в течение известного интервала времени.

Средство измерений является обобщенным понятием, объединяющим разнообразные конструктивно законченные устройства, которые реализуют одну из двух функций: воспроизводят величину известного размера и вырабатывают сигнал (показание), несущий информацию о значении измеряемой величины.

Средства измерений, используемые в различных областях науки и техники, весьма многообразны, поэтому необходимо сформировать общую их классификацию с использованием ряда общих признаков, присущих всем средствам измерений. Такая классификация, сформированная по фасетному принципу, представлена в табл. 1.

Таблица 1

Классификация средств измерений

Признак классификации	Классификационная группа средств измерений
1. По метрологической значимости	1.1. Метрологические (эталонные) 1.2. Рабочие
2. По технологической принадлежности	2.1. Технические (производственные) 2.2. Лабораторные
3. По уровню стандартизации	3.1. Стандартизованные 3.2. Нестандартизованные
4. По уровню автоматизации	4.1. Ручные (неавтоматические) 4.2. Автоматизированные 4.3. Автоматические
5. По роду измеряемой физической величины	5.1. Термометры 5.2. Гигрометры 5.3. Манометры 5.4. Силоизмерители 5.6.
6. По форме индикации измеряемой физической величины	6.1. Показывающие 6.2. Регистрирующие
7. По условиям работы	7.1. Стационарные 7.2. Переносные

Для определения некоторых терминов, приведенных в табл.1, необходимо привести следующие пояснения.

Метрологические СИ предназначены для воспроизведения единицы и (или) ее хранения или передачи размера единицы рабочим средствам измерения.

Рабочие СИ применяются для измерений, не связанных с передачей размера единиц.

Технические СИ используются для измерения технологических параметров в производственных условиях, к ним предъявляются повышенные требования к эксплуатационной надежности и устойчивости к внешним воздействиям.

Лабораторные СИ применяются для измерения количественных показателей (физических величин) в лабораторных условиях, они должны обеспечивать повышенную точность, сходимость и воспроизводимость полученных результатов.

Стандартизованные СИ изготавливаются в соответствии с требованиями действующих государственных или отраслевых стандартов.

Нестандартизованные СИ предназначены для решения специфической измерительной задачи, в стандартизации требований к ним нет необходимости.

Неавтоматические СИ применяют для осуществления измерений в ручном режиме.

Автоматизированные СИ производят в автоматическом режиме часть измерительных и (или) вычислительных операций.

Автоматические СИ осуществляют в автоматическом режиме измерения и все остальные операции, связанные с обработкой их результатов, регистрацией и передачей данных.

Показывающие СИ допускают непосредственное считывание показаний измеряемой величины.

Регистрирующие СИ предусматривают фиксацию показаний на том или ином носителе информации (бумажном или электронном).

Стационарные СИ работают в стационарных условиях и не требуют перемещения вследствие изменения условий измерения.

Переносные СИ работают в различных условиях с возможностью их перемещения.

Обобщенной метрологической характеристикой средств измерения является *класс точности*. Он выражается пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средств измерения, влияющими на точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерения.

Основной называют погрешность, которая наблюдается при соблюдении нормальных условий измерения. *Дополнительная* погрешность возникает вследствие отклонения условий измерения от нормальных.

В свою очередь, пределы допускаемых основных погрешностей выражаются в форме абсолютных, относительных или приведенных погрешностей в зависимости от характера изменения погрешностей в пределах

диапазона измерений входного или выходного сигнала, а также от условий применения и назначения конкретных средств измерений.

Пределы *абсолютных погрешностей* Δ_m (выражаемые в единицах измеряемой величины или в делениях шкалы средства измерения) используются, если в данной области измерений погрешность результатов измерений принято выражать таким образом. В этом случае пределы устанавливают по одной из формул:

$$\Delta_m = \pm a \quad (1)$$

или

$$\Delta_m = \pm(a + bx), \quad (2)$$

где x – значение измеряемой величины или число делений, отсчитанное по шкале; a, b – положительные числа, не зависящие от x .

Формула (1) описывает аддитивную погрешность, не зависящую от x , а формула (2) – сумму аддитивной и мультипликативной погрешностей (мультипликативные погрешности прямо пропорциональны измеряемой величине).

Для обозначения класса точности используют прописные буквы латинского алфавита (например «М») или римские цифры, причем меньшие пределы погрешностей должны соответствовать буквам, находящимся ближе к началу алфавита, или меньшим цифрам.

Пределы *приведенных погрешностей* γ используют, если границы диапазона измерений можно полагать постоянными. При этом пределы допускаемой приведенной погрешности определяются по формуле

$$\gamma = (\Delta/x_N)100\% = \pm p, \quad (3)$$

где x_N – нормированное значение, выраженное в тех же единицах, что и Δ ;

p – отвлеченное положительное число, выбираемое из ряда значений: (1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; $6 \cdot 10^n$; $n = 1; 0; -1; -2$ и т.д.)

Нормированное значение x_N устанавливают равным большему из пределов измерений для средств измерений с нулевой отметкой. Для СИ, шкала которых не имеет нулевой отметки, нормированное значение равно модулю разности большего и меньшего пределов измерений. Для приборов с существенно неравномерной шкалой x_N принимают равным всей длине шкалы или ее части, соответствующей диапазону измерений. В этом случае на средстве измерений класс точности условно обозначают в виде значка $\sphericalangle^{0,5}$, где 0,5 – значение числа p . В остальных случаях класс точности обозначают конкретным числом p . Обозначение наносится на циферблат, щиток или корпус прибора.

Пределы *относительных погрешностей* δ_m используют, если границы диапазона измерений нельзя считать постоянными. Они определяются по формуле

$$\delta_m = (\Delta/x)100\% = \pm q, \text{ если } \Delta_m = \pm a. \quad (4)$$

Значение постоянного числа q устанавливается так же, как и значение числа p . Класс точности на приборе обозначается в виде $\textcircled{0,5}$, где 0,5 – конкретное значение q .

В случае, если предел абсолютной погрешности задается формулой (2), пределы допускаемой относительной основной погрешности вычисляются по выражению

$$\delta_m = (\Delta/x)100\% = \pm[c + d|x_k/x - 1|], \quad (5)$$

где c и d – отвлеченные положительные числа, выбираемые из ряда: (1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; $6 \cdot 10^n$; $n = 1; 0; -1; -2$ и т.д.;

x_k – больший (по модулю) из пределов измерений.

При использовании формулы (5) класс точности обозначается в виде дроби «0,02/0,01», где числитель – значение числа c , а знаменатель – значение числа d .

Правила построения и примеры обозначения классов точности в документации и на средствах измерений приведены в табл. 2.

Таблица 2

Правила построения и примеры обозначения классов точности

N п/п	Формула для определения пределов допускаемой основной погрешности	Примеры пределов допускаемой основной погрешности	Обозначение класса точности		Примечание
			в НТД	на средствах измерений	
1	$\Delta_m = \pm a$	± 2 гс	Класс точности М	М	
2	$\Delta_m = \pm(a + bx)$	$\pm(1,00 + 0,01x)$ мм	Класс точности С	С	
3	$\gamma = (\Delta/x_N)100\% = \pm p$	$\pm 1,5\%$	Класс точности 1,5	1,5	Если результат выражен в единицах величины
		$\pm 0,5\%$	Класс точности 0,5	\checkmark 0,5	Если результат определяется длиной шкалы (ее части)
4	$\delta_m = (\Delta/x)100\% = \pm q$	$\pm 0,5\%$	Класс точности 0,5	$\textcircled{0,5}$	
5	$\delta_m = \pm[c + d x_k/x - 1]$	$\pm \left[0,02 + 0,01 \left \frac{x_k}{x} - 1 \right \right]$	Класс точности 0,02/0,01	0,02/0,01	

Предел допускаемой дополнительной погрешности может указываться в виде:

- постоянного значения для всей рабочей области влияющей величины или постоянных значений по интервалам рабочей области влияющей величины;

- отношения предела допускаемой дополнительной погрешности, соответствующего регламентированному интервалу влияющей величины, к этому интервалу;
- зависимости предела допускаемой дополнительной погрешности от влияющей величины.

2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Выбрать объект исследования (лабораторию для испытания волокон, нитей или полотен).

2.2. Выделить состав средств измерения, находящихся в исследуемой лаборатории.

2.3. Классифицировать выделенные СИ с использованием табл. 1, отмечая соответствующие графы табл. 3 знаком «+».

2.4. Выявить согласно табл. 2 наиболее приемлемую форму установления класса точности СИ (в случае отсутствия необходимой информации в технической документации на данное СИ) и осуществить расчет класса точности средства СИ с использованием выражений (1)...(5).

2.5. Поместить сведения о классе точности средства измерения (известные или расчетные) в правую часть табл. 3.

Таблица 3

Описание вида и класса точности средств измерений лаборатории

Объект исследования	Наименование СИ, его тип и модель	Классификационный номер СИ согласно табл. 1														Класс точности СИ	
		1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	4.3	5	6.1	6.2	7.1	7.2		
Лаборатория испытания волокон																	
Лаборатория испытания нитей																	
Лаборатория испытания полотен																	

2.6. Выполнить расчетное задание по определению пределов основной погрешности при известных данных (классе точности, пределах измерений, показаниях прибора).

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Что такое средство измерений? Приведите примеры средств измерений различных физических величин.

2. Какие методы измерения Вам известны? По каким признакам они классифицируются?

3. Что называют классом точности средств измерений?

4. Какие способы существуют для выражения класса точности?

5. Что понимают под основной и дополнительной погрешностями?

ПОВЕРКА МЕХАНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

Цель работы: ознакомление с основными правилами и операциями поверки весов и весовых квадрантов.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Метрологией называется наука, направленная на обеспечение их точности и единства измерений. Под единством измерений понимается характеристика качества процесса измерений, заключающаяся в том, что их результаты выражаются в узаконенных единицах, размеры которых в установленных пределах равны размерам воспроизведенных величин, а погрешности результатов измерений известны с заданной вероятностью и не выходят за установленные пределы. На достижение и поддержание единства измерений на должном уровне направлена деятельность государственных и ведомственных метрологических служб. Одной из форм этой деятельности является поверка СИ.

Поверка – это процедура, заключающаяся в установлении пригодности СИ к применению на основании контроля соответствия его метрологических характеристик предъявляемым требованиям.

Поверку СИ осуществляют путем сличения его показаний с показаниями более точного (образцового) средства измерения.

Основной метрологической характеристикой СИ является погрешность, которая отражает его точность и определяется разностью между показанием СИ и истинным значением измеряемой величины. Так как истинное значение измеряемой величины не может быть определено абсолютно точно, то вместо него используют действительное значение, под которым понимают экспериментально найденное значение, настолько приближающееся к истинному, что может быть принято в качестве последнего. Как правило, действительные значения воспроизводят образцовые СИ, с показаниями которого сравнивают поверяемые СИ. Для большинства приборов допустимая предельная абсолютная погрешность равна цене деления шкалы.

Основные требования к организации и порядку проведения поверки СИ приведены в правилах по метрологии ПР 50.2.006 – 94 «ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения». Обычно при поверке выполняются следующие операции:

- *внешний осмотр прибора* с целью идентификации прибора и выявления дефектов, которые могут привести к ошибкам при измерениях, его порче (нарушение маркировки, наличие трещин, отсоединившихся деталей, искривление указателя, деформация шкалы, отсутствие индикатора наклона прибора);

- *опробование прибора* производится с целью проверки исправности измерительного механизма и его способности к плавному реагированию на изменение измеряемой величины;

- *определение основных метрологических характеристик прибора* (в т.ч. основной и дополнительной погрешностей, вариации показаний);

- *определение специфических характеристик прибора* (в т.ч. чувствительности, порога чувствительности и др.).

В зависимости от формы представления погрешности подразделяют на абсолютные и относительные.

Абсолютная погрешность измерения Δ равна разности между фактическим результатом измерения A и истинным (действительным) значением измеряемой величины X :

$$\Delta = A - X. \quad (6)$$

Относительная погрешность измерения δ - это выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности измерения к истинному (действительному) значению измеряемой величины:

$$\delta = (\Delta / X) 100\%. \quad (7)$$

Абсолютная вариация показаний прибора Δ_v - это разность показаний прибора в одной и той же точке диапазона измерений при плавном подходе к ней со стороны меньших и больших значений измеряемой величины:

$$\Delta_v = A_{\max} - A_{\min}, \quad (8)$$

где A_{\max} и A_{\min} - большее и меньшее показания поверяемого СИ при одинаковых значениях образцового СИ.

На практике абсолютная вариация не должна превышать половины цены деления шкалы прибора или другого нормируемого значения.

Относительная вариация показаний прибора δ_v - это отношение абсолютной вариации показаний к действительному значению величины:

$$\delta_v = (\Delta_v / X) 100\%. \quad (9)$$

Чувствительностью S измерительного прибора называется отношение линейного или углового перемещения указателя к приращению измеряемой величины, вызвавшему это перемещение. Теоретически ее можно определить по формуле

$$S = D / C \text{ [мм/ед. изм] или [град/ ед. изм]}, \quad (10)$$

где D - длина деления шкалы, C - цена деления шкалы.

Длиной деления шкалы прибора называют расстояние между осями или центрами смежных отметок шкалы, измеренное вдоль воображаемой линии, проходящей через середины самых коротких отметок шкалы. *Ценой деления* называют разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы.

Порогом чувствительности P_S называется наименьшее значение измеряемой величины, способное вызвать изменение положения подвижной части (указателя) прибора.

2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Изучить инструкцию по поверке весов (весовых квадрантов).

2.2. Произвести внешний осмотр весов (весовых квадрантов). Результаты осмотра оформить в форме табл.4.

Таблица 4

Результаты внешнего осмотра весов (весового квадранта)

№ п/п	Проверяемые позиции прибора	Результат осмотра
1	Тип, модель	
2	Заводской номер	
3	Дата изготовления	
4	Инвентарный номер	
5	Диапазон измерений (для каждого пояса)	
6	Цена деления (для каждого пояса)	
7	Добавочный груз (наличие, количество)	
8	Состояние шкалы	
9	Состояние указателя	
10	Состояние покрытия, общее состояние	
	Вывод по результатам осмотра	

2.3. Привести весы в рабочее состояние, установить правильное положение по уровню, вращая винты на штативе, проверить работу механизма корректировки нуля. Произвести опробование прибора, положив на грузоподъемную чашку весов гирию произвольной массы и наблюдая за плавностью перемещения указателя шкалы.

2.4. Определить основную абсолютную и относительную фактическую погрешности измерений. Для этого на грузоподъемную чашку накладывают образцовые гири так, чтобы получить показания последовательно в пяти точках шкалы (в начале, в конце, в середине и в промежуточных точках). Результаты занести в табл. 5 отдельно по каждому поясу.

Таблица 5

Результаты определения фактической основной погрешности

№ п/п	Масса образцовой гири X , г (мг)	Показание прибора A , г (мг)	Фактическая абсолютная погрешность Δ_{ϕ} , г (мг)	Фактическая относительная погрешность δ_{ϕ} , %
1				
2				
3				
4				
5				

2.5. Вычислить номинальные значения абсолютных и относительных погрешностей в тех же пяти равномерно распределенных точках шкалы. Абсолютную номинальную погрешность Δ_n принять равной цене деления шкалы C , а относительную номинальную погрешность δ_n определить по выражению

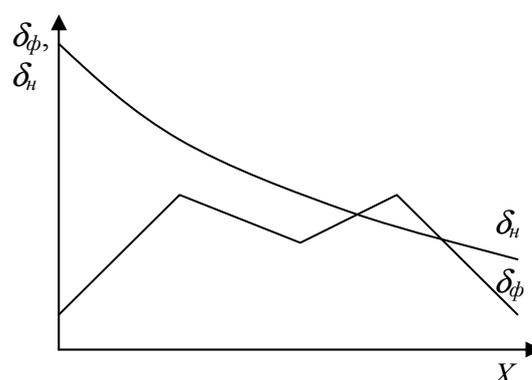
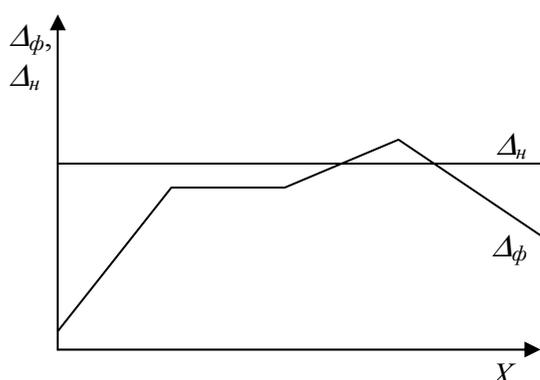
$$\delta_n = (C/X)100\% . \quad (11)$$

Результаты занести в табл. 6.

Результаты вычисления номинальных погрешностей

№ п/п	Номинальное значение шкалы (масса образцовой гири) X , г (мг)	Номинальная абсолютная погрешность $\Delta_n = C$, г (мг)	Номинальная относительная погрешность δ_n , %
1			
2			
3			
4			
5			

2.6. Построить графики зависимости номинальных и фактических погрешностей (абсолютных и относительных Δ_n , δ_n , Δ_ϕ , δ_ϕ) от значения X .



2.7. Проанализировать полученные графики и сделать вывод о пригодности весов (весового квадранта) к эксплуатации. Если $\Delta_\phi > \Delta_n$ или $\delta_\phi > \delta_n$, то прибор считается негодным к применению.

2.8. Определить чувствительность прибора и порог чувствительности. Для этого следует выбрать три точки шкалы (в начале, в середине и в конце) и в каждой из них дать приращение массы ΔX . Величину приращения необходимо выбрать так, чтобы указатель переместился на 1 ... 4 деления. В каждой из трех точек замерить штангенциркулем длину перемещения Δl и вычислить показатель чувствительности по формуле

$$S = \Delta l / \Delta X. \quad (12)$$

Результаты записать в табл. 7.

Результаты экспериментального определения чувствительности

Наименование показателя	Значение показателя в точках шкалы		
	1	2	3
Номинальная нагрузка X , г (мг)			
Приращение нагрузки ΔX , г (мг)			
Приращение показания n , делений			
Изменение положения указателя Δl , мм			
Чувствительность S , мм/г			
Порог чувствительности P , г (мг)			

Порог чувствительности определить одновременно с чувствительностью в трех точках по минимальной величине миллиграммового разновеса, при котором указатель меняет свое положение.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Каково назначение поверки СИ?
2. Назовите основные операции поверки СИ.
3. Перечислите метрологические характеристики СИ.
4. Что понимают под абсолютной, относительной погрешностью СИ?
5. Каким образом определяется вариация показаний прибора?
6. Что называется чувствительностью прибора и порогом чувствительности?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ПОВЕРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

Цель работы: ознакомиться со специфическими особенностями процедуры поверки электрических средств измерений.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Поверка электрических приборов помимо других методов чаще всего производится методом непосредственного сличения показаний поверяемого и некоторого образцового прибора при измерении одной и той же величины. Основой данного метода служит одновременное измерение одного и того же значения физической величины поверяемым и образцовым СИ. Разность показаний этих приборов равна абсолютной погрешности поверяемого средства измерений. Данный метод применяют для поверки приборов класса точности 0,5 и менее точных. Важным при поверке является выбор оптимального соотношения между допускаемыми погрешностями поверяемого и образцового приборов. В общем случае допускаемая погрешность образцового прибора должна быть, по крайней мере, в 5 раз меньше допускаемой погрешности поверяемого прибора:

$$\Delta_o \leq 0,2\Delta_n. \quad (13)$$

Следует обратить внимание на распространенную ошибку, когда вместо пятикратного запаса по точности применяют образцовые приборы, у которых число, обозначающее класс точности, в пять раз меньше класса точности поверяемого прибора. Эта ошибка является следствием отождествления понятий «класс точности» и «приведенная погрешность». Предел допускаемой погрешности СИ зависит не только от его класса точности, но и от предела измерений, поэтому последний необходимо учитывать при выборе образцового СИ. Класс точности образцового прибора следует рассчитывать по формуле

$$K_o \leq 0,2K_n (X_N)_n / (X_N)_o, \quad (14)$$

где K_n, K_o – численное значение класса точности поверяемого и образцового СИ; $(X_N)_n, (X_N)_o$ – нормированное значение шкалы поверяемого и образцового СИ.

На рис. 1 приведена структурная схема реализации выбранного для проведения поверки метода сличения.

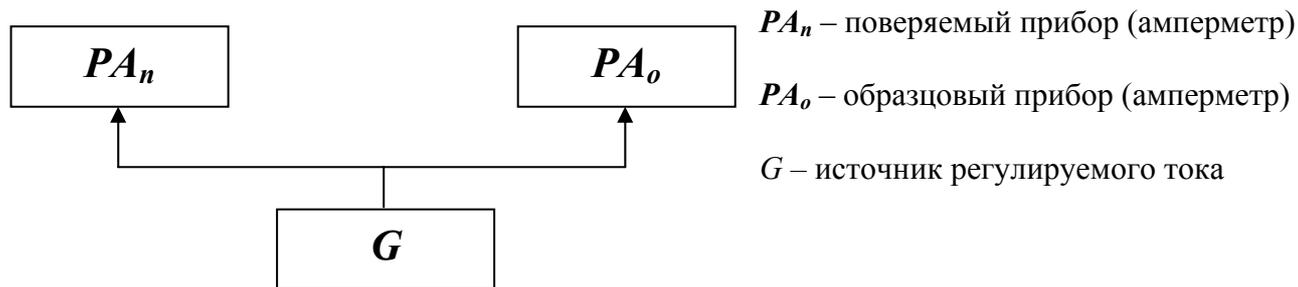


Рис. 1. Структурная схема соединения

Принципиальная электрическая схема стенда для поверки амперметра представлена на рис. 2.

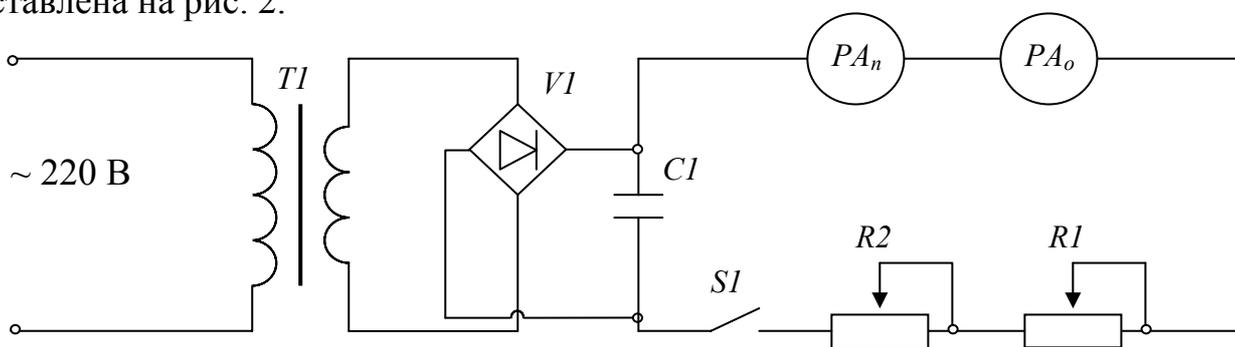


Рис. 2. Принципиальная схема стенда

При поверке приборов должны соблюдаться нормальные условия как для поверяемого прибора, так и для образцовых средств измерений. Поверяемый прибор должен быть установлен в рабочее положение в соответствии с указаниями. Если рабочее положение не указано, то переносные приборы поверяют в горизонтальном положении, а щитовые – в вертикальном. Указатель прибора ставят корректором на отметку механического нуля до предварительного нагрева и в дальнейшем он не должен вновь устанавливаться на эту отметку.

Многие операции, выполняемые при поверке электрических средств измерений аналогичны операциям, приведенным в предыдущей работе. В данном случае рассмотрим следующие этапы поверки:

- внешний осмотр;
- опробование;
- определение влияния наклона на показания прибора;
- проверка электрической прочности изоляции и определение сопротивления изоляции;
- определение основной погрешности и вариации показаний;
- определение величины невозвращения указателя к отметке механического нуля;
- определение времени успокоения подвижной части прибора.

Конкретный перечень обязательного минимума операций устанавливается в зависимости от назначения прибора и вида поверки.

2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Провести внешний осмотр прибора. В ходе внешнего осмотра выявляются следующие дефекты:

- наличие в корпусе прибора или местах соединений отдельных частей трещин или щелей, через которые внутрь корпуса может проникнуть пыль или влага;
- повреждение защитного стекла или его непрочное крепление;
- наличие посторонних или отсоединившихся предметов (выявляется на слух при переворачивании прибора);
- коробление, загрязнение или отсутствие шкалы прибора;
- потускнение или разрушение зеркальной полоски, служащей для устранения погрешностей от параллакса;
- искривление указателя прибора;
- несоответствие разбивки шкалы на деления между основными числовыми отметками общему характеру шкалы;
- отсутствие, расшатывание или повреждение зажимов, штепселей, их несоответствие гнездам;
- неисправность переключателей.

Результаты внешнего осмотра занести в табл. 5, отмечая каждую позицию словами «Соответствует норме» или «Не соответствует норме».

Таблица 8

Результаты внешнего осмотра

Возможные дефекты прибора	Состояние прибора
Наличие трещин или щелей	
Состояние стекла	
Наличие посторонних или отсоединившихся элементов	
Состояние шкалы прибора	
Состояние зеркальной полоски	
Характер разбивки шкалы	
Состояние зажимов, штепселей и гнезд	
Состояние корректора	

Сделать вывод о возможности дальнейшей поверки прибора (при обнаружении любого из перечисленных выше дефектов поверяемый прибор признается негодным к применению и дальнейшей поверке не подлежит).

2.2. Осуществить опробование прибора. Прежде всего, необходимо проверить работу корректора: он должен позволять смещать указатель прибора в обе стороны от отметки механического нуля на 5 % длины шкалы и устанавливать его точно на нуль.

Дальнейшее опробование щитового поверяемого прибора осуществляется следующим образом:

- тумблер $S1$ источника тока переключить в положение «ВКЛ»;
- ручкой резистора $R1$ проверить отклонение стрелки поверяемого прибора PA_n ;
- переключить тумблер $S1$ в положение «ОТКЛ»;

- сделать вывод о состоянии измерительного механизма прибора и органах регулировки (состояние измерительного механизма «Удовлетворительное» или «Неудовлетворительное»).

2.3. Определить основную погрешность и вариацию показаний следующим образом:

- тумблер $S1$ источника тока переключить в положение «ВКЛ»;
 - ручками резистора $R1$ «грубо» и $R2$ «точно» установить указатель образцового прибора PA_o поочередно на каждую числовую отметку шкалы и записать соответствующие этим положениям показания поверяемого прибора PA_n (необходимо следить за тем, чтобы стрелка каждый раз подходила к отметке шкалы со стороны меньших значений);

- дойти до максимального значения, затем, плавно уменьшая ток, вновь установить стрелку образцового прибора PA_o на каждую числовую отметку (в этом случае необходимо следить за тем, чтобы стрелка каждый раз подходила к отметкам шкалы со стороны больших значений) и записать соответствующие этим положениям показания поверяемого прибора PA_n в табл. 9;

Таблица 9

Значения основной погрешности и вариации показаний

Показания приборов при увеличении измеряемой величины				Показания приборов при уменьшении измеряемой величины				Вариация показаний	
X	A	$\Delta_{ув}$	$\delta_{ув}$	X	A	$\Delta_{ум}$	$\delta_{ум}$	Δ_V	δ_V
10				10					
20				20					
30				30					
40				40					
42				42					
44				44					
46				46					
48				48					

- переключить тумблер $S1$ в положение «ОТКЛ»;
 - определить разность между показаниями поверяемого A и образцового X приборов для каждой числовой отметки при увеличении показаний ($\Delta_{ув}$) и при уменьшении показаний ($\Delta_{ум}$), которая дает значение абсолютной погрешности согласно выражению (6);

- определить относительную погрешность по выражению (7);
- рассчитать абсолютную вариацию показаний прибора по формуле (8);
- определить относительную вариацию показаний прибора по формуле (9).

Сделать вывод о состоянии (удовлетворительное, неудовлетворительное) поверяемого прибора на основе сравнения фактических погрешностей с допустимыми (классом точности): $\delta_{дон} = \pm 2,5 \%$, $\delta_{V доп} = 2,5 \%$.

2.4. Определить величину невозвращения указателя к отметке механического нуля. Для этого измеряемую величину (электрический ток) плавно

уменьшают от максимального значения до нуля и при полном отсутствии тока определяют положение стрелки относительно нулевой отметки. Операцию выполняют следующим образом:

- переключатель $S1$ перевести в положение «ВКЛ»;
- резистором $R1$ установить максимальное значение показаний на приборе PA_n ;
- плавно уменьшить ток резистором $R1$ до нуля;
- переключатель $S1$ перевести в положение «ВЫКЛ»;
- измерить расстояние γ от стрелки до нулевой отметки на шкале прибора;
- сравнить значение γ с пределом допустимого невозвращения стрелки $\gamma_{дон}$:

$$\gamma_{дон} = 0,01 KL, \quad (15)$$

где K – число, обозначающее класс точности прибора;

L – длина шкалы прибора, мм.

2.5. Определить время успокоения подвижной части прибора. Под временем успокоения подвижной части прибора понимают время с момента изменения измеряемой величины до момента, когда отличие показания прибора от установившегося его показания не превысит 1% длины шкалы. Время успокоения подвижной части прибора определяют следующим образом:

- тумблер $S1$ источника тока переключить в положение «ВКЛ»;
- ручкой резистора $R1$ установить стрелку поверяемого прибора PA_n на геометрическую середину шкалы;
- тумблер $S1$ источника тока переключить в положение «ВЫКЛ»;
- через отрезок времени, необходимый для успокоения колебаний стрелки прибора PA_n , одновременно с включением секундомера переключить тумблер $S1$ в положение «ВКЛ»;
- внимательно следя за характером движения стрелки прибора PA_n , выключить секундомер в момент полной остановки стрелки прибора PA_n и записать его показания в табл. 7;
- три последние операции выполнить не менее трех раз и время успокоения определить как среднее арифметическое значение полученных результатов.

Таблица 10

Время успокоения подвижной части прибора

Показания секундомера t_y , с, в повторностях			Среднее значение $\bar{t}_y = \sum t_y / 3, \text{ с}$
1	2	3	

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Какие методы поверки СИ Вы знаете?
2. Перечислите виды поверок?
3. Какие существуют поверочные схемы?
4. Что называется истинным и действительным значением физической величины?
5. Как устанавливается оптимальное соотношение по точности между поверяемым и образцовым СИ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ
 ОДНОКРАТНЫХ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Цель работы: ознакомиться с правилами вычисления погрешностей косвенных однократных измерений и действиями с приближенными числами.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Косвенные измерения – это измерения, при которых значение измеряемой величины находят путем вычислений на основании известной зависимости между этой величиной и другими величинами, полученными прямыми измерениями. В общем случае зависимость, связывающую измеряемую величину Y и величины X_1, X_2, \dots, X_n , можно представить в виде

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n). \quad (16)$$

Такие измерения широко распространены и имеют большое значение в метрологической практике. Например, измерение плотности вещества ρ требует измерения массы m и объема V с помощью прямых измерений, а затем вычисления по формуле $\rho = m/V$.

Помимо косвенных измерений, поиск зависимости между величинами осуществляется проведением совокупных и совместных измерений. *Совместными* называются проводимые одновременно измерения двух или более неоднородных величин для установления зависимости между ними. *Совокупными* называются измерения, проводимые одновременно для нескольких однородных величин, когда их искомые значения находят решением системы уравнений, получаемых при различных сочетаниях этих величин (решение системы уравнений электрической цепи по закону Кирхгоффа).

Оценка погрешностей косвенных измерений включает два этапа. Сначала необходимо оценить погрешности в величинах, полученных прямыми измерениями, а затем определить, как эти погрешности трансформируются в процессе вычислений и отражаются на конечном результате. Наиболее часто встречающиеся действия с величинами и их погрешностями приведены в табл. 11.

Таблица 11

Выражения для вычисления предельной погрешности результата при различных действиях с величинами

Действия с величинами	Действия с погрешностями	
	абсолютной	относительной
1	2	3
1. $(A_1 \pm \Delta_1) + (A_2 \pm \Delta_2)$	$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 $	$\delta = \frac{ \Delta_1 + \Delta_2 }{A_1 + A_2}$
2. $(A_1 \pm \Delta_1) - (A_2 \pm \Delta_2)$	$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 $	$\delta = \frac{ \Delta_1 + \Delta_2 }{A_1 - A_2}$
3. $(A_1 \pm \Delta_1) \times (A_2 \pm \Delta_2)$	$\Delta = \delta(A_1 \times A_2)$	$\delta = \delta_1 + \delta_2 $

1	2	3
4. $\frac{A_1 \pm \Delta_1}{A_2 \pm \Delta_2}$	$\Delta = \delta \frac{A_1}{A_2}$	$\delta = \delta_1 + \delta_2 $
5. $a(A_1 \pm \Delta_1)$	$\Delta = \delta(A_1 a)$	$\delta = \delta_1$
6. $(A_1 \pm \Delta_1)^a$	$\Delta = \delta A_1^a$	$\delta = a \delta_1$
7. $\sqrt[a]{A_1 \pm \Delta_1}$	$\Delta = \delta \sqrt[a]{A_1}$	$\delta = \frac{\delta_1}{a}$

Примечание: в таблице стрелками показана очередность вычисления погрешности: для арифметических действий – от абсолютных к относительным погрешностям, а для алгебраических действий – наоборот.

При окончательной записи результатов косвенных измерений необходимо учитывать следующие правила:

а) погрешность результата измерения указывается двумя значащими цифрами, если первая из них равна 1 или 2, и одной – если первая цифра равна 3 или более;

б) результат измерения округляется до того же десятичного знака, которым оканчивается округленное значение абсолютной погрешности. Если десятичная дробь в числовом значении результата измерений оканчивается нулями, то нули отбрасываются до того разряда, который соответствует разряду числового значения погрешности;

в) если цифра старшего из отбрасываемых разрядов меньше пяти, то остальные цифры числа не изменяются. Лишние цифры в целых числах заменяются нулями, а в десятичных дробях отбрасываются;

г) если цифра старшего из отбрасываемых разрядов больше или равна пяти, но за ней следуют отличные от нуля цифры, то последнюю оставляемую цифру увеличивают на единицу;

д) если отбрасываемая цифра равна пяти, а следующие за ней цифры неизвестны или равны нулю, то последнюю сохраняемую цифру числа не изменяют, если она четная, и увеличивают на единицу, если она нечетная;

е) округление производится лишь в окончательном ответе, а все промежуточные вычисления проводят с одним – двумя лишними знаками.

Примечание: значащими цифрами называются все цифры числа, стоящие справа от последнего нуля из серии нулей. Например, в числах 21; 0,35; 0,087 и 0,00014 по две значащие цифры, а в числе 0,18500 – пять значащих цифр.

Пример записи окончательного результата измерений:

25,4±0,415 – запись неправильная;

25,4±0,4 – запись правильная;

1324,56±2,54 – запись неправильная;

1324,6±2,5 – запись правильная.

2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Определить погрешность косвенных измерений линейной плотности пряжи. Для этого необходимо:

- отобрать от паковки отрезок пряжи длиной около метра;
- определить длину L отрезка пряжи, пользуясь метровой линейкой с ценой деления $C = \Delta_L = 5$ мм, при этом ее действительное значение L_δ будет равно

$$L_\delta = L \pm \Delta_L; \quad (17)$$

- определить массу m отрезка пряжи на торсионных весах с ценой деления $C = \Delta_m = 1$ мг, при этом ее действительное значение m_δ будет равно

$$m_\delta = m \pm \Delta_m; \quad (18)$$

- рассчитать линейную плотность T [текс] пряжи по формуле

$$T_e = \frac{m}{L} 1000, \quad (19)$$

где m – масса отрезка, мг; L – длина отрезка, мм;

При этом действительная линейная плотность T_δ будет равна

$$T_\delta = \frac{m \pm \Delta_m}{L \pm \Delta_L} 1000; \quad (20)$$

- принять абсолютную погрешность измерения массы Δ_m и длины Δ_L , равной цене деления соответствующего средства измерения;
- определить относительную погрешность измерения массы и длины по формуле (7), вместо истинного значения взять фактически измеренное значение;
- вычислить относительную δ_T и абсолютную Δ_T погрешности косвенного измерения по формулам строки 4 табл. 11;
- записать итоговый результат, используя правила округления, в виде

$$T_\delta = T_e \pm \Delta_T. \quad (21)$$

- оформить результаты в форме табл. 12.

Таблица 12

Результаты измерений и вычислений линейной плотности пряжи

Обозначение величины и ее размерность	Измеренное значение	Предельные погрешности	
		Δ , ед. изм.	δ , %
m , мм			
L , мм			
T_e , текс			

2.2. Определить погрешность косвенных измерений при вычислении коэффициента крутки пряжи. Для этого выполнить следующие операции:

- взять паковку крученой пряжи и заправить отрезок нити в зажимы круткомера (зажимная длина L_0 должна соответствовать 250 мм);
- измерить линейкой с ценой деления $C_1 = 1$ мм длину L отрезка пряжи, находящегося между зажимами до раскручивания;
- определить методом непосредственного раскручивания число кручений n отрезка крученой пряжи;

-срезать лезвием отрезок пряжи у зажимов и определить его массу m на торсионных весах с ценой деления $C_2 = 1$ мг;

-рассчитать коэффициент крутки по формуле

$$\alpha_s = \frac{K\sqrt{T}}{100} = \frac{1000n\sqrt{m}}{100L\sqrt{L}} \sqrt{1000} = 316 \frac{n\sqrt{m}}{L\sqrt{L}}, \quad (22)$$

где n – число оборотов по счетчику; L – длина отрезка, мм; m – масса отрезка, мг;

-найти абсолютную погрешность измерения длины по формуле $\Delta_L = |L - L_0|$;

-принять абсолютную погрешность измерения массы, равную цене деления весов: $\Delta_m = C_2$;

-принять абсолютную погрешность измерения числа оборотов, равную 0,5 оборота: $\Delta_n = 0,5$;

-определить относительные погрешности измерения массы, длины и числа оборотов по формуле (7);

-определить относительную и абсолютную погрешности коэффициента крутки, используя формулы строк 3, 4 и 7 табл. 11. Вычисления проводить в следующей последовательности:

$$\delta_\alpha = \delta_n + \delta_L + \delta_{\sqrt{m}} + \delta_{\sqrt{L}}, \quad (23)$$

$$\Delta_\alpha = \alpha_s \delta_\alpha / 100. \quad (24)$$

При этом следует учесть, что $\delta_{\sqrt{m}} = \delta_m / 2$, а $\delta_{\sqrt{L}} = \delta_L / 2$;

- записать итоговый результат, используя правила округления:

$$\alpha_d = \alpha_s \pm \Delta_\alpha; \quad (25)$$

- оформить результаты в форме табл. 13.

Таблица 13

Результаты измерений и вычислений линейной плотности пряжи

Обозначение величины и ее размерность	Измеренное значение	Предельные погрешности	
		Δ , ед. изм.	δ , %
n			
m , мм			
L , мм			
α_s			

2.3. Определить погрешность при вычислении удельной разрывной нагрузки пряжи. Для этого необходимо:

-заправить отрезок однониточной пряжи в зажимы разрывной машины РМ-3;

-измерить расстояние L между зажимами с помощью линейки с ценой деления $C_1 = 1$ мм (зажимная длина L_0 должна соответствовать 500 мм);

-определить разрывную нагрузку P_p по шкале силоизмерителя с соответствующей ценой деления $C_3 = 2; 5; 10$ гс;

-срезать оборвавшиеся концы и определить их массу m на торсионных весах с ценой деления $C_2 = 1$ мг;

-вычислить удельную разрывную нагрузку пряжи по формуле

$$(P_y)_\epsilon = \frac{P_p}{T} = \frac{P_p L}{1000m}, \quad (26)$$

где P_p – разрывная нагрузка, гс; L – длина отрезка, мм; m – масса отрезка, мг;

-найти абсолютную погрешность измерения длины по формуле $\Delta_L = |L_0 - L|$;

-принять абсолютную погрешность измерения массы, равную цене деления весов: $\Delta_m = C_2$;

-принять абсолютную погрешность измерения разрывной нагрузки, равную цене деления шкалы силоизмерителя: $\Delta_{P_p} = C_3$;

-определить абсолютную и относительную погрешности удельной разрывной нагрузки, используя формулы строк 3 и 4 табл. 11. Вычисления проводить в следующей последовательности:

$$\delta_{P_y} = \delta_{P_p} + \delta_L + \delta_m, \quad (27)$$

$$\Delta_{P_y} = (P_y)_\epsilon \delta_{P_y} / 100; \quad (28)$$

-записать итоговый результат в виде

$$(P_y)_\delta = (P_y)_\epsilon \pm \Delta_{P_y}; \quad (29)$$

- оформить результаты в виде табл. 14.

Таблица 14

Результаты измерений и вычислений линейной плотности пряжи

Обозначение величины и ее размерность	Измеренное значение	Предельные погрешности	
		Δ , ед. изм.	δ , %
P_p , гс			
m , мг			
L , мм			
$(P_y)_\epsilon$, гс/текс			

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Что называется косвенными и прямыми измерениями?
2. В чем отличие совокупных и совместных измерений?
3. В каких случаях суммируются абсолютные погрешности, а в каких относительные погрешности?
4. Назовите основные правила округления итогового результата измерений.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИЗМЕРЕНИЯ С ЗАДАННОЙ ОБЩЕЙ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТЬЮ

Цель работы: изучение метода совместного учета погрешности выборки и предельной погрешности средства измерений.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

При проведении практических исследований необходимо учитывать влияние неравномерности объекта измерений и погрешности используемого

прибора, эти факторы существенно сказываются на точности полученных результатов. В первом случае целесообразно говорить о случайной, а во втором – о систематической составляющей итоговой погрешности.

Случайная погрешность – составляющая погрешности измерений, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) в серии повторных измерений одного и того же размера физической величины, проведенных с одинаковой тщательностью в одних и тех же условиях. Эти погрешности неизбежны, неустранимы и всегда присутствуют в результате измерения. Их можно существенно уменьшить путем увеличения числа наблюдений.

Систематическая погрешность - составляющая погрешности измерений, остающаяся постоянной или закономерно меняющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины. Отличительный признак систематических погрешностей заключается в том, что они могут быть предсказаны, обнаружены и, благодаря этому, почти полностью устранены введением соответствующей поправки. В ГОСТ 8.009-84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений» систематическая погрешность трактуется как специфическая, «вырожденная» случайная величина, обладающая некоторыми, но не всеми свойствами случайной величины.

Общая погрешность результата с учетом независимости ее составляющих при многократных измерениях в простейшем случае может быть определена квадратическим суммированием по формуле

$$\Delta = \sqrt{\Delta_g^2 + \Delta_n^2} = t \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{n} + \frac{\sigma_n^2}{n}}, \quad (30)$$

где Δ_g - погрешность выборки при доверительной вероятности $P = 0,95$;

Δ_n - погрешность средства измерения;

t –квантиль распределения Стьюдента при доверительной вероятности $P=0,95$ и числе испытаний в выборке n (табл. 15);

σ_x - среднеквадратическое отклонение результатов измерений относительно среднего арифметического значения;

σ_n - среднеквадратическое отклонение, обусловленное нормированными пределами абсолютной погрешности СИ.

В свою очередь σ_x рассчитывается по формуле:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}}, \quad (31)$$

где \bar{X} - среднее арифметическое значение измеряемой величины:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n x_i / n. \quad (32)$$

Значение σ_n , можно вычислить по формуле:

$$\sigma_n = 2C/D_n, \quad (33)$$

где D_n – коэффициент, зависящий от числа испытаний в выборке (см. табл. 15).

Таблица 15

Значения статистических характеристик при доверительной вероятности 0,95

Обозначение характеристики	Значение характеристик при числе испытаний n , равном			
	5	10	20	30 и более
t	2,78	2,26	2,09	2,04
D_n	4,20	4,79	5,20	6,00

Примечание: в табл. 15 значения характеристик приведены для числа измерений, кратного пяти. При прочих значениях n величины t и D_n необходимо определить методом линейной интерполяции. Например, при $n = 12$

$$t_{12} = t_{10} - \frac{(t_{10} - t_{20})(12 - 10)}{(20 - 10)} = 2,26 - \frac{(2,26 - 2,09)2}{10} = 2,226,$$

$$D_{12} = D_{10} + \frac{(D_{20} - D_{10})(12 - 10)}{(20 - 10)} = 4,8 + \frac{(5,2 - 4,79)2}{10} = 4,88.$$

При подсчете промежуточных значений t и D_n нужно учитывать, что с увеличением числа испытаний D_n увеличивается, а t уменьшается.

Согласно выражению (7) абсолютная погрешность среднего значения выборки можно вычислить как

$$\Delta = \delta \bar{X} / 100. \quad (34)$$

Приравняв правые части уравнений (30) и (34) и условившись о приемлемом значении относительной погрешности ($\delta_s = \delta$), решаем полученное уравнение относительно числа испытаний n . В итоге получим значение минимального числа испытаний с заданной погрешностью δ_s :

$$n = \left(\frac{t}{0,01 \delta_s \bar{X}} \right)^2 (\sigma_x^2 + \sigma_n^2). \quad (35)$$

2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Провести 10 предварительных измерений линейной плотности пряжи и занести их результаты в табл. 16.

2.2. Рассчитать среднее арифметическое значение \bar{X}_1 , отклонение от среднего, квадраты отклонений и их сумму, результаты занести в табл. 16.

2.3. Рассчитать среднеквадратическое отклонение, вызванное неравномерностью объекта измерений по формуле (31).

2.4. Рассчитать среднеквадратическое отклонение вследствие несовершенства средства измерений по формуле (33).

2.5. Определить абсолютную и относительную погрешности среднего значения по формулам (30) и (7).

2.6. Установить заданную относительную погрешность δ_s и рассчитать необходимое число испытаний n по формуле (35). Если $n > 10$, то провести дополнительное число испытаний, равное $(n - 10)$, а полученные результаты измерений и вычислений дополнительной серии занести в нижнюю часть табл. 16.

Результаты измерений линейной плотности пряжи

№ п/ п	Показания прибора x_i	Отклонение от среднего		Квадрат отклонения от среднего		
		предварит. серия	дополнит. серия	предварит. серия	дополнит. серия	
1	предв. серия					
2						
3						
...						
8						
9						
10						
		$\bar{X}_1 = \sum_{i=1}^{10} x_i / 10$			$\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{X}_1)^2$	
11		дополн. серия	X		X	
12						
...						
n-1						
n	$\bar{X}_2 = \sum_{i=1}^n x_i / n$			$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X}_2)^2$		

2.7. Повторить вычисления по пп. 2.2 ... 2.5 для n результатов. Если фактическая относительная погрешность не превышает заданную ($\delta \leq \delta_3$), то дальнейшие измерения не требуются. В противном случае ($\delta > \delta_3$) по формуле (35) вновь вычисляется необходимое число испытаний n' с использованием \bar{X}_2 и новых значений σ_x^2 и σ_n^2 , а также проводятся дополнительные испытания и расчеты.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Что называют случайной погрешностью?
2. Что называется систематической погрешностью?
3. Какую составляющую итоговой погрешности возможно исключить из результата измерения?
4. Какие факторы влияют на возникновение погрешностей?
5. Как можно исключить систематические погрешности измерений?
6. Каким образом можно снизить случайную составляющую итоговой погрешности?

ОБНАРУЖЕНИЕ И ИСКЛЮЧЕНИЕ ГРУБЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Цель работы: изучить и освоить методы и критерии исключения грубых погрешностей при многократных измерениях физической величины.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Грубая погрешность (промах) – это погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда. Причинами возникновения грубых погрешностей являются резкие изменения условий измерения и ошибки, допущенные оператором. К ним можно отнести:

- неправильный отсчет по шкале измерительного прибора, происходящий из-за неверного учета цены малых делений шкалы;
- неверную запись результата наблюдений, значений отдельных мер использованного набора, например гирь;
- хаотические изменения параметров окружающей среды, например амплитуды и частоты электрического напряжения, питающего СИ.

Выявление грубых погрешностей осуществляют с помощью разнообразных критериев (Романовского, «трех сигм», Диксона и других).

Критерий Романовского применяется, если число измерений $n < 20$. При этом вычисляется отношение

$$(K_p)_э = \frac{|\bar{X} - x_i|}{\sigma_x}, \quad (36)$$

где \bar{X} – среднее арифметическое значение (среднее) без учета экстремального значения x_i ;

σ_x – среднеквадратическое отклонение без учета экстремального значения x_i .

Полученное значение $(K_p)_э$ сравнивается с критерием $(K_p)_т$, выбранным по табл. 17. Если $(K_p)_э \geq (K_p)_т$, то результат x_i с вероятностью P считается промахом и отбрасывается.

Таблица 17

*Значения критерия Романовского
при различной доверительной вероятности P и числе измерений n*

Доверит. вероятность P	Значения $(K_p)_т$ при числе измерений n						
	4	6	8	10	12	15	20
0,99	1,73	2,16	2,43	2,62	22,75	2,90	3,08
0,98	1,72	2,13	2,37	2,54	2,66	2,80	2,96
0,95	1,71	2,10	2,27	2,41	2,52	2,64	2,78
0,90	1,69	2,00	2,17	2,29	2,39	2,49	2,62

Критерий «трех сигм» применяется для результатов измерений, распределенных по нормальному закону. Он надежен при числе измерений $n \geq 20$. По этому критерию результат, возникающий с вероятностью $(1 - P) \leq 0,003$, считается маловероятным и его можно считать промахом. Для проверки резко выделяющегося результата x_i вычисляют отношение

$$K_{3\sigma} = \left| \bar{X} - x_i \right| / \sigma_x . \quad (37)$$

Величины \bar{X} и σ_x вычисляют без учета проверяемого экстремального значения x_i . Если $K_{3\sigma} > 3$, то результат x_i с установленной вероятностью $P = 0,997$ считают промахом и отбрасывают.

Вариационный критерий Диксона удобен и имеет малую вероятность ошибки. При его применении полученные результаты измерений записывают в вариационный возрастающий ряд x_1, x_2, \dots, x_n ($x_1 < x_2 < \dots < x_i < \dots < x_{n-1} < x_n$). Критерий Диксона определяется отношением

$$(K_D)_\varnothing = \frac{x_i - x_{i-1}}{x_i - x_1} . \quad (38)$$

Полученное значение сравнивается с критическим значением критерия $(K_D)_T$, определяемым по табл. 18. Если $(K_D)_\varnothing > (K_D)_T$, то результат x_i с установленной вероятностью P можно считать промахом.

Таблица 18

Значения критерия Диксона
при доверительной вероятности P и числе измерений n

Доверит. вероятность P	Значения $(K_D)_T$ при числе измерений n								
	4	6	8	10	14	16	18	20	30
0,99	0,89	0,70	0,59	0,53	0,45	0,43	0,41	0,39	0,34
0,98	0,85	0,64	0,54	0,48	0,41	0,39	0,37	0,36	0,31
0,95	0,76	0,56	0,47	0,41	0,35	0,33	0,31	0,30	0,26
0,90	0,68	0,48	0,40	0,35	0,29	0,28	0,26	0,26	0,22

Применение рассмотренных критериев требует осмотрительности и учета объективных условий измерений. В сомнительных случаях лучше сделать дополнительные измерения (не взамен сомнительных, а кроме них) и затем использовать рассмотренные выше критерии.

2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Выбрать исследуемую физическую величину x (например разрывную нагрузку, линейную плотность или крутку пряжи).

2.2. Осуществить с помощью выбранного средства измерений 30 измерений исследуемой величины. Результаты занести в табл. 19.

2.3. Выявить грубые погрешности для первых 10 измерений с использованием критерия Романовского. Для этого определить среднее значение \bar{X} и среднеквадратическое отклонение σ_x по формулам (32) и (31) **без учета экстремального результата** (максимального или минимального). Результаты занести в табл. 19.

Таблица 19

Результаты измерений и вычислений исследуемой величины

№ п/п	Значение величины x_i		Отклонение от среднего $ \bar{X} - x_i $		Квадрат отклонения $(\bar{X} - x_i)^2$	
			без учета x_{\max}	без учета x_{\min}	без учета x_{\max}	без учета x_{\min}
1						
2						
...						
9						
10						
Сводн. рез.	без учета x_{\max}	без учета x_{\min}				
Сумма						
\bar{X}						
σ_x						

Для наибольшего отклонения от среднего $|\bar{X} - x_i|$ вычислить значение критерия Романовского по формуле (36). Если $(K_P)_{\text{Э}} \geq (K_P)_T$, то соответствующий результат при доверительной вероятности $P = 0,95$ и числе измерений $n=10$ считается промахом и исключается из выборки. В этом случае необходимо проверить следующий, менее отличающийся от среднего результат по аналогичной методике.

2.4. Найти грубые погрешности для 30 измерений с применением критерия «трех сигм». Расчет проводить по методике аналогичной приведенной для критерия Романовского. Если $K_{3\sigma} > 3$, то соответствующий результат считается промахом и исключается из выборки.

2.5. Определить наличие грубых погрешностей с использованием вариационного критерия Диксона. Для этого результаты 30 измерений располагают в порядке возрастания. Результаты измерений и вычислений занести в табл. 20.

Таблица 20

Результаты измерений и вычислений исследуемой величины

№ п/п	Значение величины x_i		Отклонение от предыдущего значения $x_i - x_{i-1}$	Отклонение от первого значения $x_i - x_1$	Расчетное значение критерия Диксона $K_D = \frac{x_i - x_{i-1}}{x_i - x_1}$
	Первич.	Сортиров.			
1			—	0,00	—
2					
3					
...					
28					
29					
30					

Для всех членов этого ряда x_i вычисляют критерий Диксона $(K_d)_\alpha$ по формуле (38) и сравнивают его с табличным $(K_d)_T$ при доверительной вероятности $P = 0,95$ и числе измерений $n = 30$. Если $(K_d)_\alpha > (K_d)_T$, то результат x_i считают промахом и в дальнейшем не учитывают.

2.6. Сформулировать общие выводы по работе, т.е. установить наличие или отсутствие в выборке грубых погрешностей.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Что является грубыми погрешностями и какие причины приводят к их возникновению?

2. Как применяется критерий Романовского для исключения грубых погрешностей выборки?

3. Расскажите об использовании вариационного критерия Диксона для нахождения промахов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ОЦЕНИВАНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ

Цель работы: освоить научные принципы оценивания качества процесса измерения конкретных физических величин (количественных показателей отдельных свойств текстильных материалов).

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Под **процессом измерения** понимают совокупность операций, необходимых для получения конечного результата решения измерительной задачи по определению числового значения и размерности физической величины.

Под **качеством процесса измерения** понимают совокупность свойств процесса измерения, удовлетворяющих потребителя (исследователя). Качество данного процесса характеризуется точностью, правильностью, сходимостью, воспроизводимостью, стабильностью и оперативностью.

Точность – качественная характеристика измерения, отражающая близость к нулю погрешности его результатов.

Сходимость - качественная характеристика, показывающая близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполняемых повторно одними и теми же методами и средствами измерений в одних и тех же условиях.

Воспроизводимость - качественная характеристика, определяющая близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, полученных в разных местах, разными методами и средствами измерений, разными операторами, но приведенных к одним и тем же условиям.

Стабильность – качественная характеристика, отражающая неизменность во времени отдельных метрологических характеристик (в т.ч. погрешности).

Оперативность – качественная характеристика, показывающая скорость (время) получения результата отдельного измерения.

Помимо перечисленных могут быть установлены и другие свойства процесса измерения (например правильность, трудоемкость, экономичность и др.). Учитывая многогранность понятия «качество процесса измерений», будем определять его числовую оценку комплексным показателем согласно выражению

$$Q = \sum_{j=1}^m q_j \alpha_j, \quad (39)$$

где $q_j = (y_j / \|y_j\|)^{\text{sgn } \Delta x}$ - j -й дифференциальный показатель качества;

$$\text{sgn } \Delta x = \begin{cases} +1, & \text{если } \Delta x = x_{\text{луч}} - x_{\text{худ}} > 0 \text{ позитивный показатель,} \\ -1, & \text{если } \Delta x = x_{\text{луч}} - x_{\text{худ}} < 0 \text{ негативный показатель;} \end{cases}$$

$\|y_j\|$ - базовое значение j -го единичного показателя качества;

y_j – текущее значение j -го единичного показателя качества;

α_j – коэффициент весомости j -го единичного показателя качества.

Количественные показатели отдельных свойств процесса измерения представлены в табл. 21.

Таблица 21

Выражения для расчета количественных показателей качества процесса измерения

Наименование свойства	Обозначение количественного показателя	Способ вычисления количественного показателя
Точность	$y_1 = (\overline{\Delta x})_m$	$(\overline{\Delta x})_m = \sum_{i=1}^n \Delta x_i / n$
Сходимость	$y_2 = (\overline{\Delta x})_c$	$(\overline{\Delta x})_c = \bar{x}_1 - \bar{x}_2 $
Воспроизводимость	$y_3 = (\overline{\Delta x})_e$	$(\overline{\Delta x})_e = \bar{x}_1^* - \bar{x}_2^* $
Стабильность	$y_4 = (\overline{\Delta x})_{cm}$	$(\overline{\Delta x})_{cm} = (\bar{x})_{t_1} - (\bar{x})_{t_2} $
Оперативность	$y_5 = \bar{t}$	$\bar{t} = \sum_{i=1}^n t_i / n, t_i = t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}}$

В качестве пояснения данных табл. 21 необходимо привести следующие расчетные формулы:

$\Delta x_i = (x_i - x_{\text{действ}})$ - погрешность отдельного результата измерения ($x_{\text{действ}} = \sum_{i=1}^{10} x_i / 10$);

$\bar{x}_1 = \sum_{i=1}^{n_1} x_i / n_1$ - среднее значение величины в первой серии измерений, осуществленных в одинаковых условиях;

$\bar{x}_2 = \sum_{i=1}^{n_2} x_i / n_2$ - среднее значение величины во второй серии измерений,

осуществленных в одинаковых условиях;

$\bar{x}_1^* = \bar{x}_1$ - среднее значение величины в первой серии измерений, осуществленных в различных условиях;

$\bar{x}_2^* = \sum_{i=1}^{n_3} x_i / n_3$ - среднее значение величины во второй серии измерений, осуществленных в различных условиях;

осуществленных в различных условиях;

$(\bar{x})_{t_1} = \bar{x}_1$ - среднее значение величины в серии измерений, выполненных на момент времени t_1 ;

$(\bar{x})_{t_2} = \sum_{i=1}^{n_3} x_i / n_4$ - среднее значение величины в серии измерений, выполненных на

момент времени t_2 (время между t_1 и t_2 принять равным 1 часу);

$t_{нач}$ - начальное время отдельного измерения;

$t_{кон}$ - конечное время отдельного измерения.

2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Выбрать объект исследования, например пряжу.

2.2. Установить измеряемый количественный показатель (физическую величину), например абсолютную разрывную нагрузку.

2.3. Выбрать и ранжировать с использованием экспертного метода свойства процесса измерения. Результаты оформить в виде табл. 22.

Таблица 22

Результаты ранжирования выбранных свойств процесса измерения

Номер свойства j	Наименование свойства	Ранги, проставленные экспертами, R_{jk}						Сумма рангов S_j	Коэфф. вес-ти α_j
		1	2	...	k	...	l		
1	Точность								
2	Сходимость								
3	Воспроизводимость								
4	Стабильность								
5	Оперативность								

Примечание: ранги проставлять в виде дроби: верхняя строка дроби соответствует неоткорректированным рангам, проставленным экспертами, а нижняя строка – откорректированным рангам из условия, что сумма рангов равна сумме мест при их последовательном расположении.

Вычисление коэффициента весомости j -го свойства процесса измерения осуществить согласно выражению

$$\alpha_j = S_j^{-1} / \sum_{j=1}^m S_j^{-1}. \quad (40)$$

2.4. Осуществить практические измерения и вычисления количественных показателей свойств процесса измерения. Результаты поместить в табл. 23.

Таблица 23

Данные для вычисления количественных показателей качества процесса измерения

№ изм.	1 серия		2 серия		3 серия		4 серия	
	$x_i = (x_1)_i = (x_1^*)_i = (x_{t_1})_i$	t_i	$(x_2)_i$	t_i	$(x_2^*)_i$	t_i	$(x_{t_2})_i$	t_i
1								
2								
3								
...								
8								
9								
10								
	$x_{\text{действ}} = \bar{x}_1 = \bar{x}_1^* = (\bar{x})_{t_1} =$		$\bar{x}_2 =$		$\bar{x}_2^* =$		$(\bar{x})_{t_2} =$	

2.5. Определить нормативные (базовые) значения единичных показателей качества процесса измерения с учетом разброса полученных значений (31) и рекомендаций по вычислению погрешности СИ (33). Результаты поместить в табл. 24.

Таблица 24

Результаты расчета количественных показателей качества процесса измерения

Номер показателя j	Фактическое значение y_j	Нормативное значение $\ y_j\ $	Коэффициент весомости a_j
1			
2			
3			
4			
5			

2.6. Вычислить комплексный показатель качества выбранного процесса измерения с применением выражения (39).

2.7. Сделать общий вывод о качестве исследуемого процесса измерения при уровнях градаций качества, показанных в табл. 25.

Таблица 25

Рекомендуемые границы для оценки качества процесса измерения

Уровень	Диапазон изменения комплексного показателя качества	Оценка
Первый	0,90...1,00	Отлично
Второй	0,70...0,89	Хорошо
Третий	0,50...0,69	Удовлетворительно
Четвертый	0,00...0,49	Неудовлетворительно

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Что понимают под качеством процесса измерения?
2. Перечислите свойства, характеризующие качество процесса измерения?
3. Что называют сходимостью, воспроизводимостью, правильностью процесса измерения?
4. Что характеризуют дифференциальный и комплексный показатели качества? В чем их принципиальное отличие?
5. Какие значения можно принять в качестве нормативных при вычислении дифференциальных показателей качества процесса измерения?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОКРАТНЫХ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Цель работы: освоить методику обработки результатов многократных прямых измерений и выявления случайной погрешности измерения физической величины.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Присутствие случайных погрешностей в результатах измерения легко обнаруживается из-за их разброса относительно некоторого значения. Результат измерения и его погрешность могут рассматриваться как случайные величины. Поэтому наиболее универсальным способом их описания является выявление их интегральной или дифференциальной функции распределения.

Интегральной функцией распределения $F(x)$ называют функцию, каждое значение которой для каждого x является вероятностью события, заключающегося в том, что случайная величина x_i в i -м опыте принимает значение, меньшее x :

$$F(x) = P\{x_i \leq x\} = P\{-\infty < x_i \leq x\}. \quad (41)$$

Она имеет следующие свойства:

- неотрицательная, т.е. $F(x) \geq 0$;
- неубывающая, т.е. $F(x_2) \geq F(x_1)$, если $x_2 \geq x_1$;
- диапазон ее изменения находится от 0 до 1, т.е. $F(-\infty) = 0$, $F(+\infty) = 1$;
- вероятность нахождения случайной величины x в диапазоне от x_1 до x_2 равна $P\{x_1 < x < x_2\} = F(x_2) - F(x_1)$.

Дифференциальной функцией распределения (плотность распределения вероятностей) $f(x)$ называют функцию, каждое значение которой для каждого x является вероятностью события, заключающегося в том, что случайная величина x_i в i -м опыте принимает значение, равное x :

$$f(x) = dF(x)/dx. \quad (42)$$

Она всегда неотрицательна и подчиняется условию нормирования $\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = 1$. Таким образом, вероятность попадания случайной величины в заданный интервал $(x_1; x_2)$ равна $P\{x_1 < x < x_2\} = \int_{x_1}^{x_2} f(x)dx$.

Графики интегральной (а) и дифференциальной (б) функций распределения показаны на рис. 3.

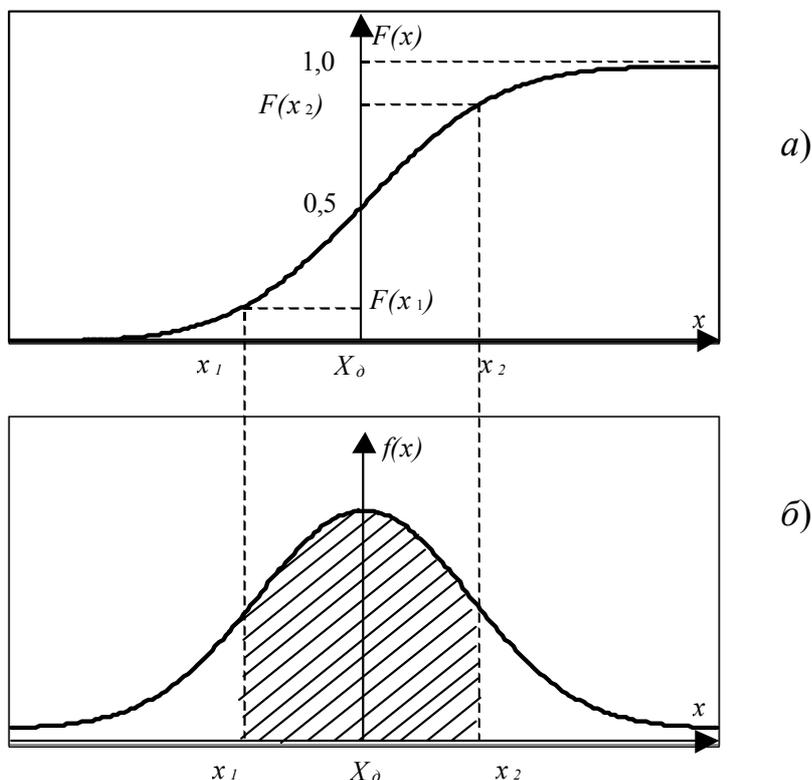


Рис. 3. Интегральная (а) и дифференциальная (б) функции распределения случайной величины

Для определения случайных погрешностей необходимо проведение длительных и кропотливых исследований и вычислений. В большинстве случаев бывает достаточно охарактеризовать случайные величины с помощью следующих параметров: медианы, математического ожидания, среднеквадратического отклонения, коэффициента асимметрии и эксцесса.

2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Выбрать объект измерения и исследуемую физическую величину (например абсолютную разрывную нагрузку, линейную плотность или крутку нити).

2.2. Осуществить с помощью выбранного средства многократные измерения ($n \geq 30$) исследуемой величины. Результаты измерений записать в соответствующую графу табл. 26.

Результаты измерений и вычислений

№ п/п	Результаты измерений x_i		$x_i - \bar{X}$	$(x_i - \bar{X})^2$
	первичные	исправленные		
1				
2				
...				
29				
30				
Сумма			—	
\bar{X}			—	$\sigma_x =$

2.3. Определить среднее значение \bar{X} и среднеквадратическое отклонение σ_x с использованием выражений (32) и (31).

2.4. Исключить грубые погрешности измерений с использованием критерия «трех сигм».

2.5. При наличии грубых погрешностей переписать оставшиеся результаты в соответствующую графу табл. 26 и пересчитать для них значения \bar{X} и σ_x по выражениям (32) и (31).

2.6. Разбить весь диапазон значений физической величины на классы, число которых определяется по формуле

$$k = 1 + 3,32 \lg n. \quad (43)$$

2.7. Величина интервала значений показателя качества внутри каждого класса рассчитывается по формуле

$$\Delta x = (X_{\max} - X_{\min})/k, \quad (44)$$

где X_{\max} и X_{\min} - максимальное и минимальное значения выборки соответственно.

2.8. Границы каждого класса вычисляются последовательно следующим образом. Для первого интервала наименьшее граничное значение находят из условия

$$(x_1)_{\min} = X_{\min} - 0,5C, \quad (45)$$

где C – цена деления средства измерения контролируемого показателя.

Прибавляя к полученному значению величину Δx , получим наибольшее граничное значение первого интервала $(x_1)_{\max}$. Оно же будет являться нижней границей второго интервала. Аналогично, прибавляя Δx к каждому последующему значению, получим граничные значения для последующих классов. В интервал последнего класса должно входить наибольшее значение X_{\max} . Центральные значения для каждого интервала определяют по формуле

$$(x_j)_c = 0,5[(x_j)_{\min} + (x_j)_{\max}]. \quad (46)$$

2.9. По каждому классу определить абсолютные и относительные частоты попадания полученных значений. Относительная частота попаданий в

конкретный интервал определяется отношением абсолютной частоты к общему количеству результатов наблюдений. Данные записать по форме табл. 27.

Таблица 27

Таблица эмпирического распределения физической величины

Номер класса j	Границы интервалов $(x_j)_{\min} \dots (x_j)_{\max}$	Среднее значение класса $(x_j)_c$	Отметка числа попаданий	Абсолютная частота попаданий $f_{\Sigma}(x) = n_j$	Относительная частота попаданий n_j/n	Накопленная относительная частота $\Sigma(n_j/n)$
1						
2						
...						
k					.	1,0
Сумма	-	-			1,0	-

Примечание: отметку числа попаданий можно делать любыми символами.

2.10. Определить относительные частоты для нормального закона распределения с использованием приведенного ниже выражения (результаты занести в табл. 28):

$$f_T(x) = (\sigma_x \sqrt{2\pi})^{-1} \exp \left[-0,5 \left(\frac{x_i - \bar{X}}{\sigma_x} \right)^2 \right]. \quad (47)$$

Таблица 28

Таблица теоретического распределения физической величины

Номер класса j	Границы интервалов $(x_j)_{\min} \dots (x_j)_{\max}$	Среднее значение класса $(x_j)_c$	Значение теоретического закона распр. $f_T(x)$	Исправленное значение теоретич. закона $f^*_T(x)$	Накопленная относительная частота $\Sigma f^*_T(x)$
1					
2					
...					
k					1,0
Сумма	-	-		1,0	

2.11. Проверить эмпирический (опытный) закон распределения $f_{\Sigma}(x)$ на соответствие с теоретическим нормальным законом $f_T(x)$ по критерию χ^2 Пирсона:

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{[n_j - n f^*_T(x)]^2}{n f^*_T(x)}. \quad (48)$$

Значения критерия $\chi^2_{\text{табл}}$ при различных уровнях доверительной вероятности и числе степеней свободы f приведены в табл. 29.

Значения квантиля χ^2 - распределения при различном числе степеней свободы

Доверительная вероятность P	Значения $\chi^2_{\text{табл}}$ при различных значениях $f = k - 1$										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,99	6,6	9,2	11,3	13,3	15,1	16,8	18,5	20,1	21,7	23,2	24,7
0,95	3,8	6,0	7,8	9,5	11,1	12,6	14,1	15,5	16,9	18,3	19,7

Гипотеза о соответствии эмпирического распределения нормальному закону распределения принимается, если $\chi^2_{\text{табл}} > \chi^2$.

2.12. Построить графики дифференциального и интегрального законов эмпирического $f_{\text{э}}(x)$ и теоретического $f_{\text{т}}(x)$ распределений.

2.13. Определить дополнительные параметрические оценки эмпирического закона распределения:

-среднее геометрическое значение $\bar{X}^{(r)}$ по формуле

$$\bar{X}^{(r)} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i} \text{ или } \bar{X}^{(r)} = \sqrt[k]{\prod_{j=1}^k (x_j)_c^{n_j/n}}; \quad (49)$$

-модальное значение X_{mo} графическим путем или по выражению

$$X_{mo} = \left[(x_{j^*})_c - \frac{\Delta x}{2} \right] + \frac{\Delta x (n_{j^*} - n_{j^*-1})}{(n_{j^*} - n_{j^*-1}) + (n_{j^*} - n_{j^*+1})}, \quad (50)$$

где $(x_{j^*})_c$ - центральное значение интервала с наибольшей частотой;

n_{j^*} - значение наибольшей частоты попадания в гистограмме;

n_{j^*-1} - значение частоты попадания в интервал, предшествующий j^* -му интервалу;

n_{j^*+1} - значение частоты попадания в интервал, последующий после j^* -го интервала;

-медианное значение X_{me} графическим путем (значение x , соответствующее 50%-й вероятности интегральной функции распределения);

-коэффициент асимметрии по выражению

$$K_a = \frac{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^k n_j [(x_j)_c - \bar{X}]^3}{\left(\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^k n_j [(x_j)_c - \bar{X}] \right)^{3/2}}; \quad (51)$$

-коэффициент эксцесса по формуле

$$K_s = \frac{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^k n_j [(x_j)_c - \bar{X}]^4}{\left(\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^k n_j [(x_j)_c - \bar{X}] \right)^2} - 3. \quad (52)$$

2.14. Найти доверительный интервал случайной погрешности на основании выражения

$$(\Delta x)_{случ} = t \sigma_{\bar{X}}, \quad (53)$$

где t – квантиль распределения Стьюдента при доверительной вероятности P и числе испытаний n . В данном случае $t[P = 0,95; n = 30] = 2,04$;

$\sigma_{\bar{X}}$ - статистическая оценка выборочного среднеквадратического отклонения

$$\sigma_{\bar{X}} = \sigma_x / \sqrt{n}. \quad (54)$$

2.15. Определить границы неисключенной систематической погрешности θ результата измерений по правилам, изложенным в ГОСТ 8.207 – 76 «ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения». При этом учитывают погрешности средств измерений, метода и погрешности, вызванные другими источниками. При их равномерном распределении эти границы можно вычислить по формуле

$$\theta = k \sqrt{\sum_{r=1}^z \theta_r^2}, \quad (55)$$

где θ_r - граница r -й неисключенной систематической погрешности;

k – коэффициент, определяемый в зависимости от заданной доверительной вероятности (при $P = 0,95, k = 1,1$).

В том случае, если $\theta/(\Delta x)_{случ} < 0,8$, неисключенными систематическими погрешностями по сравнению со случайными пренебрегают, если $\theta/(\Delta x)_{случ} > 0,8$, пренебрегают случайной погрешностью по сравнению с систематической. Если эти неравенства не выполняются, то границу погрешности результата находят путем построения композиции случайных и неисключенных систематических погрешностей.

2.16. Рассчитать границы погрешности результата измерений согласно выражению

$$\Delta = K \sigma_{\Sigma}, \quad (56)$$

где K – коэффициент, зависящий от соотношения случайной и неисключенной систематической погрешностей:

$$K = \frac{(\Delta x)_{случ} + \theta}{\sigma_{\bar{X}} + \sqrt{\sum_{r=1}^z \frac{\theta_r^2}{3}}}; \quad (57)$$

σ_{Σ} - оценка суммарного среднеквадратического отклонения результата измерения:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{\bar{X}}^2 + \sum_{r=1}^z \frac{\theta_r^2}{3}}. \quad (58)$$

2.17. Записать окончательный результат измерения физической величины в виде:

а) $X = \bar{X} \pm \Delta$ - при нормальном законе распределения значений физической величины;

б) $\bar{X}, \sigma_{\bar{X}}, n, \theta$ - при отсутствии данных о виде функции распределения составляющих погрешности результата измерений.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Что представляют собой интегральная и дифференциальная функции распределения?
2. Каким образом применяют критерий χ^2 для проверки соответствия эмпирического закона распределения теоретическому нормальному?
3. Какие параметрические характеристики распределения Вы знаете?
4. В каких случаях следует пренебрегать случайной, а в каких неисключенной систематической погрешностью результата измерений?
5. Какой нормативный документ регламентирует правила обработки результатов многократных измерений с учетом случайной и неисключенной систематической погрешностей?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ДВУХ СЕРИЙ ПРЯМЫХ ИЛИ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Цель работы: освоить методику обработки результатов двух серий измерений.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

В практике измерений часто бывает необходимо выявить наличие систематической погрешности результатов наблюдений, обусловленной влиянием какого-либо постоянно действующего фактора. В данном случае проводят многократные измерения (общим числом N), разбивают их на достаточное число m серий ($m > 3$), каждая из которых соответствует определенным (пусть неизвестным, но различным) значениям влияющего фактора. Факторами, по которым производится объединение результатов в серии, могут быть внешние условия, временная последовательность и т.п.

После разделения измерений на серии в каждой из них по известным критериям устанавливают соответствие результатов нормальному закону. Кроме этого, проверяют однородность серий измерений, выполненных в одинаковых условиях, с помощью критериев Стьюдента t и Фишера F .

Расчетное значение критерия Стьюдента t_{Σ} определяется по формуле

$$t_{\Sigma} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_{x_1}^2 + (n_2 - 1)\sigma_{x_2}^2}{(n_1 + n_2 - 2)}}} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}}, \quad (59)$$

где \bar{X}_1 и \bar{X}_2 - средние значения в проверяемых сериях;

$\sigma_{x_1}^2$ и $\sigma_{x_2}^2$ - дисперсии проверяемых серий;

n_1 и n_2 - объемы проверяемых серий, $n_1 \neq n_2$.

Если $n_1 = n_2 = n$, то формула (59) принимает вид

$$t_{\mathcal{D}} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\sigma_{x_1}^2 - \sigma_{x_2}^2}} \sqrt{n}. \quad (60)$$

Расчетное значение критерия Фишера определяется по формуле

$$F_{\mathcal{D}} = \sigma_{x_1}^2 / \sigma_{x_2}^2 \quad \text{при} \quad \sigma_{x_1}^2 > \sigma_{x_2}^2. \quad (61)$$

Вычисленные значения $t_{\mathcal{D}}$ и $F_{\mathcal{D}}$ сравнивают с табличными значениями $t_T[P = 0,95; f = n_1+n_2-2]$ и $F_T[P = 0,95; f_1 = n_1-1; f_2 = n_2-1]$ соответственно. Если выполняются неравенства $F_T > F_{\mathcal{D}}$ и $t_T > t_{\mathcal{D}}$, то гипотеза о равенстве дисперсий и средних значений в проверяемых сериях не отвергается. В этом случае предполагается, что рассеивание результатов в пределах каждой серии и между сериями, выполненными в одинаковых условиях, отражает только случайные погрешности.

Для оценки случайных внутрисерийных погрешностей используют среднюю дисперсию результатов наблюдений, вычисленную для всех m серий. При этом используют формулу

$$\sigma_{sc}^2 = \frac{1}{N - m} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{X}_j)^2, \quad (62)$$

где $\bar{X}_j = \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij} / n_j$ - среднее значение величины в j -й серии;

x_{ij} - результат i -го измерения в j -й серии;

n_j - число наблюдений в j -й серии.

В то же время рассеивание \bar{X}_j различных серий обуславливается не только случайными погрешностями, но и систематическими различиями (если они существуют). Поэтому необходимо вычислить среднюю межсерийную дисперсию, которая выражает силу действия фактора, вызывающего систематические погрешности, по формуле

$$\sigma_{mc}^2 = \frac{1}{m - 1} \sum_{j=1}^m n_j (\bar{X}_j - \bar{\bar{X}})^2, \quad (63)$$

где $\bar{\bar{X}} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^m n_j \bar{X}_j$ - общее среднее значение по всем сериям.

Критерием наличия систематических погрешностей в сериях, выполненных в различных условиях, является критерий Фишера, вычисляемый по формуле

$$F_{\mathcal{D}} = \sigma_{mc}^2 / \sigma_{sc}^2. \quad (64)$$

Значение $F_{\mathcal{D}}$ сравнивают с табличным значением F_T , выбираемым при заданной доверительной вероятности ($P = 0,95$), числе степеней свободы межсерийной дисперсии $f_1 = m - 1$ и числе степеней свободы внутрисерийной дисперсии $f_2 = N - m$. Если $F_{\mathcal{D}} > F_T$, то гипотеза о наличии систематической погрешности в результатах измерений различных серий принимается.

2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Выбрать исследуемую физическую величину x , например абсолютную разрывную нагрузку, линейную плотность или крутку нити.

2.2. Осуществить с помощью выбранного средства измерений две повторности двух серий измерений исследуемой величины ($n_j \geq 30$):

а) первые две серии измерений осуществить без изменения условий измерений;

б) вторые две серии произвести с изменением условий измерений (путем смены однородного объекта исследования, средства измерений, режима или времени измерений). Результаты измерений записать в табл. 30.

Таблица 30

Первичные результаты измерений физической величины x

Номер измер.	Значения измеряемой величины в сериях							
	1 серия		2 серия		3 серия		4 серия	
	перв.	испр.	перв.	испр.	перв.	испр.	перв.	испр.
1								
2								
...								
29								
30								
Сумма								
\bar{X}_j								

2.3. Определить по каждой серии среднее значение \bar{X}_j и среднеквадратическое отклонение σ_{x_j} по формулам (33) и (31). Результаты промежуточных вычислений оформить в форме табл. 31.

Таблица 31

Результаты промежуточных вычислений

Номер измер.	1 серия		2 серия		3 серия		4 серия	
	$ x_{ij} - \bar{X}_j $	$(x_{ij} - \bar{X}_j)^2$	$ x_{ij} - \bar{X}_j $	$(x_{ij} - \bar{X}_j)^2$	$ x_{ij} - \bar{X}_j $	$(x_{ij} - \bar{X}_j)^2$	$ x_{ij} - \bar{X}_j $	$(x_{ij} - \bar{X}_j)^2$
1								
2								
...								
29								
30								
Сумма	—		—		—		—	
σ_{x_j}								

2.4. Исключить грубые погрешности по каждой серии измерений с использованием критерия «трех сигм». В случае обнаружения промахов определить новые значения \bar{X}_j и σ_{x_j} .

2.5. Проверить по каждой серии измерений соответствие распределения результатов теоретическому нормальному закону с использованием составного критерия d и m . Для этого вычисляют отношение

$$d_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} |x_{ij} - \bar{X}_j|}{n_j \mathfrak{E}_{x_j}}, \quad (65)$$

где $\mathfrak{E}_{x_j} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{X}_j)^2 / n_j}$ - смещенное среднеквадратическое отклонение.

Гипотеза о нормальном распределении результатов наблюдений не отвергается, если выполняется условие

$$d_{1-q/2} \leq d_j \leq d_{q/2}, \quad (66)$$

где $d_{1-q/2}$ и $d_{q/2}$ - квантили d -распределения по $1-q/2$ и $q/2$ и n_j (см. табл. 32);

q - выбранный уровень значимости критерия (принять $q = 0,05$).

Таблица 32

Значения квантиля d -распределения

Объем серии n_j	Значения d при			
	$1-q/2$		$q/2$	
	0,95	0,99	0,05	0,01
16	0,7236	0,6829	0,8884	0,9137
21	0,7304	0,6950	0,8768	0,9001
26	0,7360	0,7040	0,8686	0,8901
31	0,7404	0,7110	0,8625	0,8826
36	0,7440	0,7167	0,8578	0,8769
41	0,7470	0,7216	0,8540	0,8722
47	0,7496	0,7256	0,8508	0,8682
51	0,7518	0,7291	0,8481	0,8648

После проверки данного условия приступают к анализу второго критерия m , представляющего собой число разностей $|x_{ij} - \bar{X}_j|$, которые превзошли значение $D = \sigma_{x_j} z_{P/2}$, где $z_{P/2}$ - верхняя квантиль распределения Лапласа, соответствующая вероятности $P/2$. Значения P выбирают по табл. 33 по уровню значимости q_1 и числу наблюдений в серии.

Таблица 33

Значения P для вычисления $z_{P/2}$ и критическое число отклонений m_T

Объем серии n_j	m_T	Значение P при уровне q_1 , равном		
		0,01	0,02	0,05
10	1	0,98	0,98	0,96
11-14	1	0,99	0,98	0,97
15-20	1	0,99	0,99	0,98
21-22	2	0,98	0,97	0,96
23	2	0,98	0,98	0,96
24-27	2	0,98	0,98	0,97
28-32	2	0,99	0,98	0,98
33-35	2	0,99	0,98	0,98
36-49	2	0,99	0,99	0,98

В случае, если хотя бы один из критериев не соблюдается, считают, что распределение результатов измерений серии не соответствует нормальному.

2.6. Определить расчетные значения критерия Стьюдента для проверки однородности средних значений сначала для первых двух, а затем для последующих двух серий по формуле (59) или (60). Сравнить полученные значения с табличными и сделать соответствующий вывод.

2.7. Определить расчетные значения дисперсионного критерия Фишера для проверки однородности дисперсий для первых двух и для следующих двух серий. Сделать соответствующий вывод по результатам сравнения расчетных и табличных значений.

2.8. Выявить наличие систематических погрешностей в результатах измерений, выполненных в разных условиях, с помощью формул (62), (63) и (64).

2.9. Определить для каждой серии измерений доверительный интервал случайной погрешности на основании формулы (53).

2.10. Показать на числовой оси OX результаты измерений по каждой серии с соответствующими доверительными интервалами.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Какие факторы могут привести к возникновению систематических погрешностей в результатах измерений?

2. По какой величине проверяется однородность результатов с помощью критерия Стьюдента?

3. По какой величине проверяется однородность результатов с помощью критерия Фишера?

4. Каким образом применяется составной критерий d и m для проверки соответствия эмпирического распределения нормальному закону?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОКРАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДВУХ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Цель работы: освоить методику обработки результатов двух взаимосвязанных физических величин.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Совместные измерения широко используются для выявления эмпирических зависимостей между некоторой искомой физической величиной и другими величинами, определяемыми посредством прямых или косвенных измерений. Одним из наиболее общих способов отыскания оценок (наилучших приближений) истинных значений измеряемых величин является регрессионный анализ, реализованный в методе наименьших квадратов. Каждое условное уравнение, получаемое в результате i -го опыта, содержит оценки искомых величин и числовые коэффициенты:

$$F_i(\tilde{x}_1; \tilde{x}_2; \dots; \tilde{x}_j, \dots; \tilde{x}_m) = 0, \quad (67)$$

где \tilde{x}_j - оценки искомых величин, общее число которых равно m .

Однако для получения тождеств необходимо учесть величины, называемые остаточными погрешностями условных уравнений v_i :

$$F_i(\tilde{x}_1; \tilde{x}_2; \dots; \tilde{x}_j, \dots; \tilde{x}_m) + v_i = 0. \quad (68)$$

По методу наименьших квадратов оценки \tilde{x}_j подбираются так, чтобы минимизировать сумму квадратов остаточных погрешностей системы n условных уравнений. Решение этой задачи возможно только тогда, когда условные уравнения линейны или приведены к линейным известными способами.

2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Выбрать объект исследования, например однониточную пряжу.

2.2. Установить измеряемый количественный показатель (физическую величину y), например абсолютную разрывную нагрузку пряжи.

2.3. Выбрать взаимосвязанную с физической величиной y физическую величину x , например относительное разрывное удлинение пряжи.

2.4. Осуществить с помощью выбранных средств измерений (разрывной машины РМ-3) совместные одновременные многократные измерения исследуемых физических величин x и y . Результаты по шести сериям измерений записать в табл. 34.

Таблица 34

Результаты измерений двух взаимосвязанных величин

Номер серии p	Номер испытания i	Значения величин				
		$(x_i)_p$	$(y_i)_p$	\bar{X}_p^2	\bar{Y}_p^2	$\bar{X}_p \bar{Y}_p$
1	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
Среднее	—					
2	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
Среднее	—					
....
6	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
Среднее						
Сумма		$\sum_{p=1}^6 \bar{X}_p =$	$\sum_{p=1}^6 \bar{Y}_p =$	$\sum_{p=1}^6 \bar{X}_p^2 =$	$\sum_{p=1}^6 \bar{Y}_p^2 =$	$\sum_{p=1}^6 \bar{X}_p \bar{Y}_p =$

2.5. Осуществить усреднение в каждой серии испытаний по пяти повторностям. Грубые погрешности измерений выявлять визуально и не включать в табл. 34.

2.6. Произвести линейную интерполяцию экспериментальных данных табл. 34 с использованием уравнения

$$y_T = a + bx, \quad (69)$$

где $a = \frac{\sum_{p=1}^6 \bar{X}_p^2 \sum_{p=1}^6 \bar{Y}_p - \sum_{p=1}^6 \bar{X}_p \sum_{p=1}^6 \bar{X}_p \bar{Y}_p}{6 \sum_{p=1}^6 \bar{X}_p^2 - \left(\sum_{p=1}^6 \bar{X}_p \right)^2}$ - свободный член уравнения;

$$b = \frac{6 \sum_{p=1}^6 \bar{X}_p \bar{Y}_p - \sum_{p=1}^6 \bar{X}_p \sum_{p=1}^6 \bar{Y}_p}{6 \sum_{p=1}^6 \bar{X}_p^2 - \left(\sum_{p=1}^6 \bar{X}_p \right)^2} - \text{коэффициент линейного уравнения регрессии.}$$

2.7. Определить ряд теоретических значений физической величины $(y_T)_p$ на основании выражения (69), подставляя в него соответствующие усредненные значения \bar{X}_p , и найти абсолютные погрешности результатов отдельных серий испытаний по выражению

$$(\Delta y)_p = |(y_T)_p - \bar{Y}_p|. \quad (70)$$

Результаты вычислений записать по форме табл. 35.

Таблица 35

Результаты вычислений абсолютных погрешностей от неадекватности полученного уравнения

Номер серии испытаний p	\bar{X}_p	\bar{Y}_p	$(y_T)_p$	$(\Delta y)_p$
1				
2				
3				
4				
5				
6				

2.8. Определить усредненное значение абсолютной погрешности $\overline{\Delta y}$ по формуле

$$\overline{\Delta y} = \sqrt{\sigma_y^2} = \sqrt{\frac{1}{6-2} \sum_{p=1}^6 (\bar{Y}_p - a - b\bar{X}_p)^2}. \quad (71)$$

2.9. Вычислить погрешности при определении коэффициентов a и b уравнения (69) согласно выражениям:

$$\Delta a = \frac{\sigma_y^2 \sum_{p=1}^6 \bar{X}_p}{6 \sum_{p=1}^6 \bar{X}_p^2 - \left(\sum_{p=1}^6 \bar{X}_p \right)^2}, \quad (72)$$

$$\Delta b = \frac{6\sigma_y^2}{6 \sum_{p=1}^6 \bar{X}_p^2 - \left(\sum_{p=1}^6 \bar{X}_p \right)^2}. \quad (73)$$

2.10. Определить доверительные границы для физической величины y при доверительной вероятности $P = 0,95$ на основании выражений:

$$y_s = (a + \Delta a) + (b + \Delta b)x, \quad (74)$$

$$y_n = (a - \Delta a) + (b - \Delta b)x. \quad (75)$$

Примечание: вычисления по формулам (74) и (75) проводить дважды, подставляя вместо x соответственно минимальное и максимальное значения \bar{X}_p .

2.11. Построить на координатной плоскости $\{x, y\}$ графики зависимости эмпирических \bar{Y}_p и теоретических $(y_T)_p$ значений от величины \bar{X}_p .

2.12. Построить на той же координатной плоскости $\{x, y\}$ доверительные границы для физической величины y .

2.13. Вычислить коэффициент корреляции между физическими величинами x и y по формуле

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{p=1}^6 (\bar{X}_p - \bar{\bar{X}})(\bar{Y}_p - \bar{\bar{Y}})}{\sqrt{\sum_{p=1}^6 (\bar{X}_p - \bar{\bar{X}})^2 \sum_{p=1}^6 (\bar{Y}_p - \bar{\bar{Y}})^2}}, \quad (76)$$

где $\bar{\bar{X}} = \sum_{p=1}^6 \bar{X}_p / 6$ - общее среднее значение результатов измерений величины x ;

$\bar{\bar{Y}} = \sum_{p=1}^6 \bar{Y}_p / 6$ - общее среднее значение результатов измерений величины y .

2.14. Сделать вывод о характере рассеивания эмпирических результатов измерений величины y относительно теоретических значений, а также о степени взаимосвязи двух величин x и y .

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. В чем заключается смысл метода наименьших квадратов при нахождении эмпирического уравнения взаимосвязи двух физических величин?

2. Что такое линеаризация и в каких случаях этот метод может быть применим для обработки результатов нелинейных косвенных уравнений?

2. Какие причины могут привести к отклонениям фактических значений измеряемой величины относительно расчетных?

3. Что характеризует коэффициент парной корреляции? В каком диапазоне он способен изменяться?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УЧЕТА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Цель работы: ознакомиться с основными вопросами технического учета средств измерений.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Технический учет ведется с целью получения информации о количественном и качественном составе средств измерений (СИ), находящихся в эксплуатации, и проведения на этой основе мероприятий по совершенствованию метрологического обеспечения производства. Поддержание СИ в постоянной готовности к выполнению измерений с требуемой точностью достигается путем их своевременной поверки, ремонта и обслуживания.

Техническому учету подлежат все средства измерений, находящиеся в эксплуатации, независимо от состояния материального (бухгалтерского) учета. Основными документами технического учета являются:

- паспорт СИ подразделения (лаборатории, цеха и т.п.);
- сводный паспорт СИ предприятия (организации).

Паспорт СИ подразделения состоит из форм, в которые заносятся сведения:

- о лицах, ответственных за состояние СИ в подразделении;
- о типах и количестве СИ, находящихся в обращении в подразделении;
- об организации и проведении поверки и ремонта СИ;
- о результатах метрологического надзора за состоянием СИ.

Паспорт СИ подразделения ведется постоянно, пополняется сведениями о движении СИ и подлежит ежегодной сверке со сводным паспортом.

Технический учет в лабораториях, цехах и т.д. организуют руководители этих подразделений через лиц, назначаемых ответственными за состояние СИ. На данное лицо возлагается:

- проведение постоянного контроля за состоянием СИ, находящихся в обращении;
- ведение паспорта СИ;
- составление в установленные сроки годовых графиков поверки СИ;
- своевременное представление СИ на поверку;
- выявление неисправных СИ, подлежащих ремонту или списанию;
- составление заявок на приобретение СИ, необходимых для исследований.

2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТЫ

После предварительного ознакомления со средствами измерений конкретной лаборатории заполняются формы 1-А, ..., 1-Г паспорта. Для каждой формы следует отвести отдельную страницу.

Форма 1-А. В нее заносятся (рис. 4) сведения обо всех лицах, выполняющих работы по ремонту, юстировке, техническому учету и поверке СИ. В графе «примечание» указывается ответственное лицо, утвержденное приказом директора. В графе 4 указывается род деятельности по метрологическому обеспечению и вид измерений (измерение массы, давления, силы и т.д.), за которые несет ответственность указанное лицо.

					Форма 1-А
(наименование подразделения)					
П Е Р Е Ч Е Н Ь					
должностных лиц, ответственных за технический учет и эксплуатацию средств измерений					
№ п/п	Фамилия, имя, отчество	Занимаемая должность	Род деятельности по метрологическому обеспечению	С какого времени выполняет эти функции	Примечание
(Должность начальника подразделения)		_____	(Ф.И.О. начальника подразделения)		
		подпись			
« » _____ 200 _ г.					
(Дата первоначального заполнения паспорта или внесения изменений в составе должностных лиц)					

Рис. 4. Схема заполнения формы 1 - А

Формы 1-Б, 1-В, 1-Г. Содержат сведения о количественном составе СИ, их паспортные данные, а также сведения о поверке и ремонте (в лабораторной работе не указываются).

В форме 1-Б (рис. 5) указывают стандартизованные СИ, которые подлежат госиспытаниям и занесены в Государственный реестр СИ.

В форме 1-В указывают СИ, изготавливаемые в единичном экземпляре, не предназначенные для серийного и массового производства и не подвергаемые госиспытаниям.

В форме 1-Г указывают стендовое оборудование, в котором установлено СИ, подлежащее периодической поверке.

Заполнение формы начинают с указания вида измерения (табл.36), отмечая шифр в графе 3. Каждый вид измерения начинается на новом листе (в лабораторной работе можно помещать на одном).

Таблица 36

Наименования и соответствующие шифры видов измерений

Вид измерения	Шифр
Измерения геометрических величин	01
Измерения массы	02
Измерения силы и твердости	03
Измерения давления	04
Измерения вакуума	05
Измерения параметров движения	06
Измерения расхода и количества жидкостей и газов	07
Измерения вязкости и плотности	08
Физико-химические измерения	09
Температурные и теплофизические измерения	10
Оптические и оптико-физические измерения	11
Акустические измерения	12
Электрические измерения	13
Магнитные измерения	14
Измерения частоты и времени	15
Радиотехнические измерения	16
Измерения ионизирующих излучений	17

В графе 2 указывают инвентарный номер прибора, для малоценного имущества ставится обозначение «м/ц».

В графах 4...8 указывают паспортные данные каждого средства измерений.

В графах 9...19 отмечают сведения о поверке и ремонте данного средства измерений.

В графе 20 формы 1-В указать (да, нет) наличие нормативно-технических документов (инструкции, методики, раздел поверки и ТО) на данное СИ.

Форма 1-Б (1-В, 1-Г)

 (наименование подразделения)

СТАНДАРТИЗОВАННЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

№ п/п	Инвентарный номер	Технический учет						Поверка				Ремонт			Примечание
		Наименование СИ и его шифр	Тип	Предел (диапазон) измерений	Погрешность (класс точности)	Заводской номер завода-изготовителя	Год выпуска	Межповерочный интервал	Дата последней поверки	Срок (дата) очередной поверки	Где производится поверка	Дата сдачи в ремонт (№ документа)	Дата получения из ремонта	Где производится ремонт	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11...15	16	17	18	19	20

 (Должность начальника подразделения)

 подпись

 (Ф.И.О. начальника подразделения)

« » _____ 20 __ г.

Рис. 5. Схема заполнения форм 1-Б, 1-В, 1-Г

СОСТАВЛЕНИЕ МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ КОНКРЕТНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Цель работы: приобретение навыков разработки методики выполнения измерений на известные и проектируемые средства измерений.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Методика выполнения измерений (МВИ) – совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с известной погрешностью.

МВИ разрабатывают и применяют с целью обеспечения выполнения измерений с погрешностью, не превышающей требуемой или приписанной характеристики.

Приписанная характеристика погрешности измерений - характеристика погрешности любого результата совокупности измерений, получаемого при соблюдении требований и правил данной методики.

Требования к разработке, аттестации, стандартизации и метрологическому надзору за МВИ установлены в ГОСТ 8.563 – 96 «ГСИ. Методики выполнения измерений».

МВИ в зависимости от сложности и области применения излагают в отдельном документе (стандарте, инструкции, рекомендации и др.) или в разделе (части) документа (разделе стандарта технических условий и др.). Основными исходными данными для разработки МВИ являются: назначение МВИ, требования к погрешности измерений, условия измерений и др.

Разработка МВИ, как правило, включает:

- выбор метода и средств измерений (в т.ч. стандартных образцов, аттестованных смесей), вспомогательных и др. технических средств;
- установление последовательности и содержания операций при подготовке и выполнении измерений, обработке промежуточных и вычислении окончательных результатов измерений;
- установление приписанных характеристик погрешности измерений;
- разработку нормативов и процедур контроля точности получаемых результатов измерений;
- разработку документа (раздела документа) на МВИ;
- метрологическую экспертизу проекта документа на МВИ;
- аттестацию МВИ;
- стандартизацию МВИ.

Аттестация и стандартизация МВИ могут выполняться как самостоятельные работы.

В документах, регламентирующих МВИ, указывают следующие структурные элементы:

- наименование МВИ;

- назначение МВИ;
- условия измерений;
- требования к погрешности измерений или приписанные характеристики погрешности измерений;
- метод (методы) измерений;
- требования к средствам измерений, вспомогательным средствам и материалам;
- операции при подготовке к выполнению измерений;
- операции при выполнении измерений;
- операции обработки и вычислений результатов измерений;
- требования к оформлению результатов измерений;
- нормативы, процедуры и периодичность контроля погрешности результатов выполняемых измерений;
- требования к квалификации операторов;
- требования к обеспечению безопасности выполняемых работ;
- требования к обеспечению экологической безопасности;
- другие требования (при необходимости).

Наименование документа на МВИ должно соответствовать требованиям ГОСТ Р 1.5 – 2002 «ГСС РФ. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию стандартов». Например, «Государственная система обеспечения единства измерений. Абсолютная разрывная нагрузка. Методика выполнения измерений на разрывной машине РМ-3».

В структурном элементе **«Назначение МВИ»** указывают:

- область применения (объект измерения, в т.ч. наименование продукции и контролируемых параметров, а также область использования – для предприятия, отрасли и т.д.);
- наименование (при необходимости развернутое определение) измеряемой величины;
- характеристики измеряемой величины (диапазон, значения неинформативных параметров).

Данный элемент излагают в следующей редакции: «Настоящий документ (конкретный вид документа) устанавливает методику выполнения измерений (далее – наименование измеряемой величины с указанием ее специфики)...».

Раздел **«Условия измерений»** содержит перечень влияющих величин, их номинальные значения и границы диапазонов возможных значений. При необходимости указывают предельные скорости изменения влияющих величин, ограничения на продолжительность измерений, число параллельных измерений и т.д.

Первый пункт данного раздела можно изложить следующим образом: «При выполнении измерений соблюдают условия, приведенные в табл. 37».

Перечень величин, влияющих на измерения

Наименование измеряемой величины	Наименование влияющей величины	Номинальное значение	Предельные отклонения

Раздел **«Требования к погрешности измерений»** содержит числовые значения требуемых или приписанных характеристик погрешности или ссылку на документ, в котором они приводятся. Эти требования должны быть установлены в техническом задании с учетом всех составляющих погрешности.

Первый пункт раздела излагают в редакции: «Пределы допускаемой относительной погрешности измерений по данной методике составляют $\pm \dots$ » или «Погрешность измерений должна соответствовать требованиям, указанным в ... (ссылка на НД)». Требования к погрешности измерений одной и той же величины могут быть различными для разных её значений, для разной продукции, разных условий и характера использования результатов измерений. В этом случае, а также для нескольких измеряемых величин требования к погрешности приводят в форме таблиц, графиков или уравнений.

Раздел **«Метод измерений»** содержит описание приемов сравнения измеряемой величины с единицей в соответствии с принципом, положенным в основу метода. Если таких методов для одной величины несколько, то их описание выделяют в отдельный подраздел.

Первый пункт раздела излагают следующим образом: «Измерения ... (наименование измеряемой величины) выполняют методом (описание физического принципа метода)».

Раздел **«Средства измерений, вспомогательные устройства и материалы»** содержит перечень СИ и других технических средств, применяемых при выполнении измерений. В этом перечне вместе с наименованием указывают обозначения соответствующих нормативных документов, обозначения типов СИ, их метрологические характеристики (класс точности, пределы допускаемых погрешностей, пределы измерений и др.). Целесообразно привести чертежи, технические характеристики и описания СИ разового изготовления.

Первый пункт раздела излагают следующим образом: «При выполнении измерений применяют следующие средства измерений и другие технические средства: (далее – перечень)» или «При выполнении измерений применяют средства измерений и другие технические средства, приведенные в табл. 38».

Таблица 38

Перечень применяемых СИ и других технических средств

Порядковый номер и наименование СИ, технического средства	Обозначение стандарта или типа СИ либо его метрологические характеристики	Наименование измеряемой величины

Раздел **«Подготовка к выполнению измерений»** содержит описания подготовительных работ, которые проводят перед выполнением непосредственно измерений. К этим работам относят предварительное определение значений влияющих величин, сборку схем, подготовку и проверку режимов работы СИ (установка нуля, выдержка во включенном состоянии, тестирование), а также подготовку проб к измерениям. При разработке этого раздела следует по возможности делать ссылки на документы, в которых установлен порядок подготовительных работ. В противном случае первый пункт раздела излагают в редакции: «При подготовке к выполнению измерений проводят следующие работы: ... (далее – перечень и описание работ)».

Раздел **«Выполнение измерений»** содержит перечень, объем, последовательность операций, периодичность и число измерений, описания операций, требования к представлению промежуточных и конечных результатов (число значащих цифр). Если для измерений одной величины применяют несколько методов или документ на МВИ предусматривает определение двух и более величин, то описание каждой операции выделяют в отдельный подраздел.

В этом же разделе приводят формы регистрации первичных и промежуточных результатов измерений.

Первый пункт раздела излагают следующим образом: «При выполнении измерений (далее – наименование измеряемой величины) осуществляют следующие операции: ...».

Раздел **«Обработка (вычисление) результатов измерений»** содержит описание способов обработки и получения конечных результатов измерений. Если способы обработки установлены в других документах (например ГОСТ 8.207 – 76 «ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения»), то в разделе приводят ссылки на эти документы. В этом же разделе при необходимости приводят данные, необходимые для получения результатов (таблицы, графики, константы и т.п.).

Если для измерений одной величины применяют несколько методов или документ устанавливает МВИ для двух и более величин, то описание каждого способа обработки выделяют в отдельный подраздел.

Первый пункт раздела излагают так: «Обработку результатов измерений (далее – наименование измеряемой величины) выполняют способом: (далее – описание способа)».

Раздел **«Оформление результатов измерений»** содержит требования к форме, в которой приводят полученные результаты. При этом указывают вид носителя измерительной информации (документ, магнитная лента и т.д.). При необходимости приводят сведения о дате и времени получения результата измерений.

Первый пункт раздела излагают следующим образом: «Результаты измерений оформляют протоколом, форма которого приведена в приложении (номер приложения)» или «Результаты измерений оформляют записью в журнале

по указанной ниже форме (далее – таблица, график или другая форма представления результатов)».

Раздел **«Контроль точности результатов измерений»** содержит указания о нормативах, методах, средствах и плане проведения первичного и периодического контроля погрешности результатов измерений, выполняемых по данной МВИ.

Раздел **«Требования к квалификации оператора»** содержит требования к профессии, образованию, практическому опыту лиц, допускаемых к выполнению измерений. Этот раздел включают в документ на МВИ при использовании сложных неавтоматизированных методов измерений и процедур обработки их результатов. Этот раздел начинают со слов: «К выполнению измерений и (или) обработке их результатов допускают лиц ... (далее – сведения об уровне квалификации)».

Раздел **«Требования безопасности и охраны окружающей среды»**, как правило, содержит ссылки на нормативные документы, регламентирующие требования безопасности, производственной санитарии, охраны окружающей среды.

2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Выбрать исследуемую физическую величину и соответствующее СИ, например абсолютную разрывную нагрузку и разрывную машину РМ-3.

2.2. Изучить технический паспорт выбранного СИ.

2.3. Ознакомиться с основополагающим нормативным документом ГОСТ 8.563 – 96 «ГСИ. Методики выполнения измерений».

2.4. Определить перечень основных структурных элементов разрабатываемого проекта документа.

2.5. Ознакомиться с требованиями к содержанию каждого элемента и изложить их в соответствии с п. 5.2.3 ГОСТ 8.563-96 «ГСИ. Методики выполнения измерений».

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергеев А.Г., Крохин В.В. Метрология: Учебное пособие для вузов. – М.: Логос, 2001.
2. Маркин Н.С. Введение в метрологию. – М.: Издательство стандартов, 1991.
3. Бурдун Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии. – М.: Издательство стандартов, 1975.
4. Рабинович С.Г. Погрешности измерений. – Л.: Энергия, 1978.
5. Тойберг П. Оценка точности результатов измерений. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
6. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок. – М.: Мир, 1985.
7. Любимов Л.И., Форсилова И.Д. Проверка средств электрических измерений. – Л.: Энергия, 1979.
8. Грановский В.А., Сирая Т.Н. Методы обработки экспериментальных данных. – Л.: Энергоатомиздат, 1990.
9. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
10. Севостьянов А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. - М.: Легкая индустрия, 1980.
11. Зажигаев Л.С. и др. Методы планирования и обработки результатов измерений. – М.: Атомиздат, 1978.
12. Соловьев А.Н., Кирюхин С.М. Оценка и прогнозирование качества текстильных материалов. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. - 215 с.
13. Соловьев А.Н. Измерения и оценка свойств текстильных материалов. – М.: Легкая индустрия, 1966.
14. Виноградов Ю.С. Математическая статистика и ее применение в текстильной и легкой промышленности. – М.: Легкая индустрия, 1970.