

МИНИСТЕРСТВО ВНУТРЕННИХ ДЕЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛГОГРАДСКАЯ АКАДЕМИЯ

А. Н. Бардаченко, В. А. Васильев, Д. А. Евсτροпов

**ИЗМЕРЕНИЯ
В ТРАСОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ.
ПРИМЕРЫ РАБОТЫ
С ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ ПРИБОРАМИ**

Учебное пособие

Волгоград
ВА МВД России
2023

УДК 343.982.35(075.8)
ББК 67.521.3я73
Б 24

Одобрено
редакционно-издательским советом
Волгоградской академии МВД России

Бардаченко, А. Н.

Б 24 Измерения в трасологической экспертизе. Примеры работы с измерительными приборами : учебное пособие / А. Н. Бардаченко, В. А. Васильев, Д. А. Евстропов. – Волгоград : ВА МВД России, 2023. – 116 с.
ISBN 978-5-7899-1453-3

В учебном пособии освещен комплекс вопросов, относящихся к устройству, принципу работы и характеристикам технических средств измерения, применяемых при производстве трасологических исследований. Особое внимание уделено специфике работы с измерительными приборами и основным положениям обработки результатов измерений.

Издание предназначено курсантам и слушателям образовательных организаций системы МВД России.

УДК 343.982.35(075.8)
ББК 67.521.3я73

Рецензенты: начальник кафедры оружиеведения и трасологии учебно-научного комплекса судебной экспертизы Московского университета МВД России имени В. Я. Кикотя кандидат юридических наук, доцент *О. А. Харламова*; начальник отделения баллистических, трасологических и дактилоскопических экспертиз отдела криминалистических экспертиз ЭКЦ ГУ МВД России по Волгоградской области *Д. Г. Шашнин*.

ISBN 978-5-7899-1453-3

© Бардаченко А. Н., Васильев В. А., Евстропов Д. А., 2023
© Волгоградская академия МВД России, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Глава 1. Криминалистическое значение измерений как общего метода познания окружающих объектов и явлений	5
§ 1. Сущность и назначение измерения.....	13
§ 2. Выражение результатов измерений	16
Глава 2. Техничко-криминалистические средства и приемы измерений, используемые в трасологической экспертизе.....	23
§ 1. Измерение линейных размеров	24
§ 2. Измерение углов	44
§ 3. Применение оптических микроскопов	49
§ 4. Принадлежности для линейного измерения величины изображения объектов, рассматриваемых в микроскоп	60
§ 5. Средства измерения и оценки параметров морфологии поверхности	68
Глава 3. Основы достижения хорошего результата измерений.....	83
§ 1. Факторы, влияющие на результаты измерений	87
§ 2. Точность и изменчивость.....	90
§ 3. Источники неопределенности	98
§ 4. Выражение результатов измерений	104
§ 5. Порядок определения доверительного интервала измеряемой величины	110
Список рекомендуемой литературы	114
Приложение. Табличные значения коэффициента Стьюдента	115

ВВЕДЕНИЕ

Для экспертов-криминалистов измерения являются неотъемлемой частью формирования и представления результатов. В данной работе содержатся краткие сведения о роли измерений в древнем и современном обществе, их значении как общего метода познания объектов в криминалистике, объяснена важность выражения результатов измерений через Международную систему единиц (СИ), рассмотрены базовые единицы и их отношение к другим через цепочку прослеживаемости.

Особое внимание уделено основам метрологии и руководству по неопределенности измерений, которое широко используется при аккредитации лабораторий по всему миру. В разделах пособия представлены основные виды измерительных приборов, приемы (меры, измерительные инструменты, приборы и правила обращения с ними), а также определения понятий «измеряемая величина», «истинное значение», «ошибка измерения», «неопределенность» и т. д., даны краткие рекомендации по решению практических вопросов измерений, влияющих на результат.

ГЛАВА 1

КРИМИНАЛИСТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ КАК ОБЩЕГО МЕТОДА ПОЗНАНИЯ ОКРУЖАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ И ЯВЛЕНИЙ

Согласно Аристотелю, пифагорейцы, размышляя над порядком природы и закономерностями естественных образований, сформированными в соответствии с математическими концепциями, были призваны сделать числа существенными составляющими вещей. Базовым принципом их учения было то, что число – «это сущность или конечная основа всех вещей»¹. Каждая отдельная вещь является числом, а совокупность всех вещей представляет собой обширную систему чисел. Согласно этой точке зрения, все вещи не только расположены в числовом порядке, числа не просто символы космической системы, они составляют сущностную сущность всех вещей. Аристотель прямо заявляет, что мир подчиняется определенным закономерностям, которые могут быть описаны².

Устройство мира исходит от числа, именно оно выступает «причиной и началом» вещей, а отношения чисел – основой всех отношений в мире. Числа дают меру и определенность вещам, благодаря чему вещи могут быть отличимы друг от друга, а всякий объект исследования является исчислимым и измеряемым. Аристотель рассматривал математику как исключительно физическое исследование, связывающее все математические понятия с геометрией, расстоянием и материальными объектами.

В соответствии со своими математическими представлениями пифагорейцы считали материальные тела приблизительно сформированными из наложенных поверхностей, эти поверхности сформированы из линий, а линии образованы из точек. Путем соединения нескольких точек образуется линия, таким же образом, соединением нескольких линий, создается поверхность, наконец, тело или изучаемый объект – соединением нескольких поверхностей. Точки, линии и поверхности, следовательно, являются реальными единицами, составляющими все тела в природе, и в этом смысле все тела

¹ Данильян О. Г., Тараненко В. М. Философия: учебник. М.: ЭКСМО, 2005. С. 40.

² Stöckl Albert. Handbook of the History of Philosophy. Vol. 1. London: Longmans, Green & Company, 1914.

должны рассматриваться как числа. Фактически каждое материальное тело – это выражение числа «четыре», поскольку оно четвертый член трех составляющих элементов (Точки, Линии, Поверхности)¹.

Эти чисто математические концепции пифагорейцы перенесли в реальный порядок вещей и, соответственно, учили, что отдельные составляющие элементы тела можно описать. Так же считал и Кант: всякое явление может рассматриваться математикой, а любой объект исчислим и измеряем, потому что он сконструирован по схеме числа (или величины)².

Фундаментальный вклад в развитие отечественной науки об измерениях внес великий русский ученый Д. И. Менделеев. Измерениям он отдавал роль одного из путей познания природы и говорил: «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точная наука немислима без меры»³. Результаты исследований ученого зависели от точности проведения научных экспериментов, точность характеризует близость их результатов к истинному значению. Д. И. Менделеев не только придумывал методики измерений, но и конструировал приборы (двухъярусные весы, пиктометр, дифференциальный барометр и др.).

Большой вклад в измерение и познание с его помощью объектов криминалистической экспертизы сделал французский эксперт-криминалист Э. Локар. Являясь одним из авторов и основоположников графометрического метода исследования документов, свои исследования он начинал словами «распознать – значит измерить». По мнению Э. Локара, если при измерении некоторых элементов букв в сравниваемых почерках будут получены одинаковые результаты, то они выполнены одной рукой⁴.

Окружающий мир (природа, общество, человек) состоит из объектов, обладающих определенными формами и находящихся друг с другом в определенных отношениях. Так, наукой достоверно

¹ Stöckl Albert. Handbook of the History of Philosophy ...

² Патрушев С. В. Устройство современного мира. Что мы узнали и что хотели бы узнать в эпоху кризиса // Полис. 2009. № 3. С. 184–189.

³ Окрепилов В. В. Д. И. Менделеев – гениальный ученый и великий гражданин России // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2010. № 1. С. 15.

⁴ Криминалистическое изучение личности: науч.-практ. пособие для магистров / под ред. Я. В. Комиссаровой. М.: Проспект, 2016. 238 с.

установлено, что существует целый ряд объектов, имеющих одинаковые отношения, которые описываются математически¹.

Роль измерений в осмотре мест происшествий и исследовании вещественных доказательств раскрывается при производстве экспертизы. В процессе них не только определяются количественные отношения между явлениями и общая взаимосвязь с объектами экспертизы путем измерения физических величин, но и устанавливается групповая принадлежность объектов экспертизы, выделяются общие и существенные (качественные) свойства объекта. Таким образом, посредством всесторонних измерений находят общие и существенные связи между объектами криминалистической экспертизы как таковой, их количественными и качественными характеристиками.

Следует понимать, что методы измерения, производимые экспертом, имеют определенную специфику, которая главным образом зависит от объектов экспертизы и ее целей²:

1. В случае подделки маркировочных обозначений в сравниваемых объектах экспертизы измеряют высоту и ширину шрифтов, расстояние между нанесенными символами, глубину нанесенного маркировочного обозначения и другие геометрические параметры.

2. В баллистических экспертизах³ измеряют длину ствола, калибр, расстояние, начальную скорость полета пули, массу, удельную кинетическую энергию, сообщаемую снарядом при производстве выстрела, количество, ширину и угол наклона следов полей нарезов канала ствола на стреляных пулях и т. д.

3. В процессе экспертизы холодного оружия определяют длину и толщину клинка, угол схождения острия, его твердость по шкале Роквелла, отношения длины клинка к его ширине, ширину заточки.

4. Число измерений, производимых в трасологических исследованиях, можно с уверенностью назвать наиболее разнообразным:

¹ Жохов А. Л. Научные основы мировоззренчески направленного обучения математике в общеобразовательной и профессиональной школе: дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.02. М., 1999. 420 с.

² Криминалистика: полный курс: учебник для вузов / под общ. ред. А. Г. Филиппова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2015. 855 с.

³ Об утверждении Криминалистических требований к техническим характеристикам гражданского и служебного оружия, а также патронов к нему: приказ МВД России от 30 июня 2017 г. № 429 (зарег. в Минюсте РФ 15 сентября 2017 г., № 48193) // КонсультантПлюс. URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 29.11.2022).

определение внутреннего, наружного диаметра, длины окружности шины, ширины колеи и базы автомобиля, скорости движения объектов, углов их встречи, количественных и качественных характеристик объекта, подсчет числа петель для определения плотности тканей, измерение длины и ширины стопы человека, угла ее разворота.

5. При проведении пожарно-технических экспертиз¹ измеряются электрическое сопротивление проводников, температура воспламенения материалов, количество бензина, поступившего в помещение до перекрытия задвижки трубопровода, рассчитываются параметры заземления и т. д.

6. В отдельных случаях в процессе производства экспертизы при помощи современных средств измерений изучают химический состав объектов с помощью масс-спектрометров, рентгеновского и энергодисперсионного анализа, при исследовании защитных лакокрасочных покрытий и знаков определяют оттенок света и длину послесвечения при помощи колориметра и денситометра, на стендах, специально предназначенных для проведения испытаний на соответствие криминалистическим требованиям, принятым ЭКЦ МВД России, измеряют коэффициент жесткости пружины и усилия натяжения тетивы луков и арбалетов.

Работа в криминалистической лаборатории включает в себя экспертизу широкого спектра предметов, веществ и их параметров. Уровень подготовки и опыт персонала, участвующего в работе, зависят от характера экспертизы или анализа. Методы, применяемые в анализе материалов судебной экспертизы, охватывают широкий диапазон от визуального осмотра до сложных инструментальных приборов, которые включают в себя химические цветовые тесты, хемилюминесценцию, хроматографию, атомную абсорбцию и эмиссию, физические измерения, спектрометрию и спектроскопию, исследования в ультрафиолетовом, инфракрасном и видимом излучении, компьютерное моделирование, автордиографию, анализ ДНК, масс-спектрометрию, ЯМР-анализ, серологию и иммуноанализ,

¹ Черкасов В. Н., Харламенков А. С. Пожарно-техническая экспертиза электротехнической части проекта: учеб. пособие. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. 162 с.

визуальный осмотр, оптическую и электронную микроскопию, рентгенографию, но не ограничиваются ими.

Последовательно и постепенно изучая свойства объектов и признаки явлений в криминалистических экспертизах, эксперт шаг за шагом при помощи современных методов раскрывает свойства объектов и их взаимосвязь с явлениями предшествующего события, которые способствуют установлению и закреплению фактов, имеющих разыскное и доказательное значение. Изучив некоторые из свойств, можно обнаружить, что они совпадают со свойствами другого, уже изученного, объекта. Установив такое сходство и обнаружив, что число совпадающих признаков достаточно большое, эксперт, скорее всего, сделает предположение о том, что изучаемые объекты аналогичны и имеют между собой связь.

В каждом отдельном случае при производстве экспертизы от умений правильно пользоваться измерительными приборами, обрабатывать и оценивать результаты зависит истинное и ошибочное суждение эксперта. Иногда неспособность полностью доверять результату измерения является не более чем незначительным раздражением. В других случаях, где необходима достаточно высокая точность, эксперт должен уметь оценивать полученные результаты, чтобы знать, можно ли им доверять, используя данные измерительные приборы.

Каждое измерение, сделанное человеком, имеет присущую ему погрешность и неопределенность, отсюда мы приходим к тому, что ни одно из них не является или не может быть абсолютно правильным. На самом деле никому из нас никогда не нужны абсолютно точные измерения. Достаточно того, чтобы они обладали той точностью, которая требуется, или неопределенностью, которую мы можем терпеть.

Для нахождения линейных размеров объектов на месте происшествия используют рулетки, мягкие и складные меры, линейки. Точность, с которой производятся измерения данными приборами, невелика, но, как правило, отвечает требованиям практики.

Просьба о чем-то большем может вызвать определенные проблемы у экспертов, если представить, что расстояние измеряется между двумя объектами в пространстве при помощи мягкой ленточной

швейной сантиметровой линейки. Это не тот случай, где требуется большая точность: достаточно ближайшего сантиметра (т. е. неопределенность измерения составляет около сантиметра). Однако если мы попросим уменьшить данную неопределенность до 0,1 мм, нам необходимо решить ряд вопросов, например: а правильную ли мы используем линейку; нужно ли учитывать влажность воздуха и температуру окружающей среды; правильно ли мы выбрали начальную и конечную точку отсчета? Подобная проблема возникает, когда запрашиваемая точность измерения увеличивается, поэтому всегда нужно знать ответ на вопрос «Какой уровень погрешности и неопределенности достаточен для достижения поставленной цели?»

Если эксперта или ученого попытаются попросить измерить параметры объекта с безграничной точностью, то мы столкнемся с фундаментальной проблемой предела знаний. Допустим, нужно определить точную скорость и конечное положение атома во времени и пространстве. Как можно это сделать? Использовать мощный микроскоп, но, к сожалению, волны света больше атомов. Попробовать что-то с гораздо меньшей длиной волны, например высокочастотный рентген. Это поможет «увидеть» атом, но возникает новая проблема: рентгеновские лучи несут энергию, достаточную для того, чтобы придать любому атому ощутимый толчок и тем самым изменить его положение и скорость в пространстве. Фактически оказывается, что существует определенный предел неопределенности, с которым мы можем измерить скорость атома и его положение. И, поскольку нам нужно знать оба параметра, чтобы точно отследить его путь, абсолютно точное отслеживание невозможно. Это явление было обобщено Вернером Гейзенбергом в его «Принципе неопределенности»¹.

Погрешность и неопределенность в деятельности эксперта-криминалиста естественны и ожидаемы, но в ряде случаев нежелательны. Одна из внутренних трудностей, связанных с понятием погрешности и неопределенности в криминалистике, заключается

¹ Busch Paul, Teiko Heinonen, Pekka Lahti. Heisenberg's uncertainty principle // Physics Reports. 2007. 452.6. P. 155–176; Mehra Jagdish. Niels Bohr's discussions with Albert Einstein, Werner Heisenberg, and Erwin Schrödinger: The origins of the principles of uncertainty and complementarity // Foundations of physics. 1987. 17.5. P. 461–506.

в том, как данные термины используются в юридическом, повседневном и неформальном языке.

В повседневной терминологии погрешность и неопределенность подразумевают «ошибки» и недоверие: если человек говорит, что не уверен в чем-то, значит, у него есть сомнения в полученных результатах. С юридической точки зрения «ошибка» на первый взгляд может показаться достаточно пугающим и весомым аргументом, ставящим под сомнение результаты проведенного исследования и достаточным для того, чтобы обвинить эксперта в некомпетентности при производстве экспертизы.

Однако в метрологии, как науке о теоретических основах измерений, погрешность и неопределенность не являются синонимами ошибки или сомнения. Измеренному значению, приведенному вместе с оценкой его погрешности и неопределенности, доверяют больше, нежели данному значению в случаях, когда оно представлено само по себе.

В России исторически сложилось так, что при оценке достоверности произведенного измерения использовали погрешность. За рубежом исходно существовало понятие “error of measurement” – «ошибка измерения». Одной из целей при разработке стандарта качества ISO 9000 являлось обеспечение безошибочного выполнения всех измерительных функций. В рамках ISO 9000 было разработано «Руководство по вычислению неопределенности в измерениях» – “Guide to the expression of uncertainty in measurement”, в котором описаны понятие неопределенности измерений и способы ее вычисления¹.

Сейчас все чаще необходимо оценивать точность проведения измерений (например, такое требование предъявляется при аккредитации лабораторий, а это означает, что они оцениваются в соответствии с международно признанными стандартами и демонстрируют свою компетентность, беспристрастность и возможности) в терминах неопределенности. В связи со вступлением России в ВТО для повышения достоверности результатов судебных экспертиз и уменьшения судебных ошибок принято решение привести правила проведения

¹ Неопределенность измерений в метрологии. Отличие погрешности от неопределенности. Применение // Eco Electronics. URL: <http://eco-e.ru/goodies/normativnye-dokumenty/74-neopredelennost-izmerenij-v-metrologii-chem-neopredelennost-otlichaetsya-ot-pogreshnosti-i-kak-ee-primenyat> (дата обращения: 12.12.2022).

и оценки качества работ (в том числе метрологических) в соответствии с международным стандартом ISO/IEC 17025 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий». Согласно рекомендациям совета директоров Европейской сети криминалистических учреждений всем судебно-экспертным лабораториям необходимо руководствоваться данным стандартом и все измерительные лаборатории стран – членов ВТО должны оценивать точность результатов измерений в терминах неопределенности. Международной организацией по аккредитации лабораторий разработано и принято руководство по применению стандарта ISO/IEC 17025 в деятельности судебно-экспертных лабораторий ILAC-G19: 2002 “Guidelines for Forensic Science”. В России на основе данного документа разработан ГОСТ Р 52960–2008 «Аккредитация судебно-экспертных лабораторий. Руководство по применению ГОСТ Р ISO/IEC 17025»¹.

Сегодня перед органами внутренних дел открыты широкие возможности для использования в процессе раскрытия преступлений новых, эффективных методов измерений, которые позволят решать сложные задачи криминалистической идентификации и диагностики. Многообразие средств, приемов и методов измерений требует знания от эксперта границ их применимости, от этого будет зависеть объем полезной информации, которую он может извлечь при исследовании объектов криминалистической экспертизы. Но ключевая задача состоит теперь не только в том, какой метод использовать, чтобы получить правильное измерение, соответствующее нашим критериям, но и в том, какую неопределенность можно принять.

Каждое измерение имеет присущие ему погрешность и неопределенность. Однако это не означает, что в процессе него была допущена ошибка. Фактически оценка погрешности и неопределенности, связанных с измерением, увеличивает его полезность и надежность, поскольку оно может предоставить информацию, необходимую для интерпретации полученных результатов. В современном понимании измерения без оценки неопределенности в лучшем случае созда-

¹ Неопределенность измерений в метрологии ... ; Кокин А. В. Аккредитация лабораторий (отделов) экспертно-криминалистических подразделений МВД России как одно из направлений их развития // Вестник Московского университета МВД России. 2013. № 12. С. 13.

ют неполную картину, а в худшем вводят в заблуждение и являются потенциальным источником ложных выводов. Выполнение точных измерений требует от специалиста понимания основных терминов науки об измерениях, а также методов их оценки и способов предоставления информации тем, кто в ней нуждается.

На экспертов возложена задача получения данных, которые будут оцениваться по их надежности и полезности, повторяемости и воспроизводимости, истинности или предвзятости, являющимся разумными критериями в оценке процесса измерения. Это, в свою очередь, приводит к необходимости четкого и недвусмысленного понимания теоретических основ науки об измерениях, и, прежде чем выяснять, что же такое неопределенность, нужно разобраться в сущности измерения, факторах, влияющих на его результат, и требованиях, которые должен соблюдать эксперт в процессе изучения и описания объектов судебной экспертизы.

§ 1. Сущность и назначение измерения

На всем пути развития человеческого общества измерения были основой отношений людей между собой, с окружающими предметами и природой. При этом вырабатывались единые представления о размерах, формах, свойствах предметов и явлений, а также правила и способы их сопоставления¹.

Для поддержания единства установленных мер в древние времена создавались эталонные (образцовые) меры. К ним относились бережно: в древности они хранились в храмах, церквях, как наиболее надежных местах для ценных предметов. Параллельно с развитием промышленного производства повышались требования к применению и хранению мер, усиливалось стремление к унификации размеров единиц физических величин.

В процессе унификации единиц измерений во многих государствах вводились законодательные нормы, которые защищали покупателей от недобросовестности производителей и распространителей товаров и услуг. В России в XVI в. контролеры (целовальники)

¹ Демина Л. Н. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учеб. пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2010. 292 с.

на рынках разыскивали и отбирали старые (неофициальные) меры. За пользование ими налагали большой штраф и даже заключали виновных в тюрьму.

В наказе царя Федора Алексеевича Большой Московской таможене о сборе таможенных пошлин (1681 г.) говорилось, что за найденные у торговцев воровские меры определялись конфискация товаров и ссылка с семьей¹.

27 апреля 1993 г. у нас в стране был принят закон «Об обеспечении единства измерений», в котором закреплены правовые основы обеспечения единства измерений в Российской Федерации. Он направлен на защиту прав и законных интересов граждан, установленного правопорядка и экономики Российской Федерации от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений.

Измерение – это операция, выполняемая с помощью специальных средств, в результате которой мы получаем численную оценку какой-либо физической величины объекта в принятых единицах измерения. Величина, которую нам нужно измерить, называется **измеряемой величиной**. В химии измеряемой величиной обычно является содержание (концентрация) какого-либо химического объекта (молекулы, элемента, иона и т. д.) в каком-либо объекте. Химический объект, который предполагается определить, называется **аналитом**. Измерениями в химии могут быть, в частности, концентрация свинца в пробе воды, содержание пестицидов в апельсине или содержание жира в бутылке с молоком. В данном примере свинец (элемент), пестициды и жир (группа разных молекул) являются аналитами, а вода, апельсин и молоко – **объектами анализа**.

Количественное значение измеряемой величины определяется числом, выражающим отношение этой величины к единице сравнения.

Основное уравнение измерения имеет вид

$$Q = q \times U,$$

где Q – измеряемая величина;

q – числовое значение измеряемой величины в принятых значениях;

U – единица измерения.

¹ Демина Л. Н. Методы и средства измерений ...

Классификация измерений осуществляется в зависимости от различных оснований:

- по характеру зависимости от времени – статические и динамические;

- по способу получения результатов – прямые и косвенные, совокупные и совместные;

- по способу выражения результатов – абсолютные и относительные;

- по условиям, определяющим точность результата, – контрольно-поверочные, технические и т. д.

Используя приборы для измерения, мы, по сути, сравниваем размер с единицей, хранимой данным инструментом, и, производя отсчет, получаем значение величины (длины, высоты, толщины и других параметров объекта).

Пули и гильзы, у которых требуется узнать диаметр, расстояние между предметами на месте происшествия, следы (рук, ног, зубов, обуви, ногтей, механизмов и орудий), имеющие отношение к материалам уголовного дела, – все это **объекты измерения**. На основе определения совокупности конечных индивидуальных свойств объектов (физических параметров объекта исследования) эксперт делает свои заключения.

Физическая величина представляет собой свойство физического объекта в общем или качественном отношении, индивидуальное для него в количественном отношении.

Наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности называется **метрологией** (от греческих слов «метрон» – мера и «логос» – учение¹). Она включает в себя методы выполнения практически всех измерительных работ, а также их правовые и теоретические основы, в связи с чем метрологию подразделяют на теоретическую, законодательную и практическую (прикладную).

Теоретическая метрология – раздел метрологии, предметом которого является разработка фундаментальных основ метрологии. Она занимается вопросами фундаментальных исследований, созданием системы единиц измерений, физических постоянных, разработкой новых методов измерения.

¹ Демина Л. Н. Методы и средства измерений ...

Законодательная метрология – раздел метрологии, предметом которого является установление обязательных технических и юридических требований по применению единиц физических величин, эталонов, методов и средств измерений, направленных на обеспечение единства и необходимости точности измерений в интересах общества.

Практическая (прикладная) метрология – раздел метрологии, предметом которого являются вопросы практического применения разработок теоретической метрологии и положений законодательной метрологии.

Необходимость координации между теорией, практикой и законодательством очевидна: то, что мы принимаем за 1,0 килограмм, должно быть таким же килограммом для всех остальных. Эти стандарты являются фундаментальными в торговле и науке. Если мы платим за литр бензина, то предполагается, что насос дает нам литр. Мы также считаем, что литр в Белоруссии такой же, как в Германии. В самой единице измерения нет ничего особенного, важно то, что абсолютно все согласны с объемом информации, который определяется как литр, или весом, который определяется как килограмм.

В принципе целью измерения является получение истинного значения измеряемой величины. Прилагается множество усилий для оптимизации процедуры измерения таким образом, чтобы измеренное значение было как можно ближе к истинному. Тем не менее наш результат измерения всегда является оценкой истинного значения и фактическое истинное значение будет почти всегда оставаться неизвестным для нас. Следовательно, мы не можем точно знать, насколько наше измеренное значение близко к истинному значению, так как с нашей оценкой всегда связана некоторая неопределенность.

§ 2. Выражение результатов измерений

Значение измеряемой величины обычно является произведением числа на единицу физической величины, которую принято выражать в определенных единицах.

Единица физической величины – величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное единице. Используются разные единицы измерения, однако результаты целесообразно записывать в Международной системе единиц.

ПРИМЕР

Скорость пули может быть выражена как $v = 300 \text{ м/с} = 1\,080 \text{ км/ч}$, где метр в секунду и километр в час являются альтернативными единицами измерения для выражения одного и того же значения скорости. Однако из-за важности набора четко определенных и согласованных размерностей, универсальных для множества измерений, которые поддерживают современное сложное общество, размерность следует выбирать так, чтобы она была понятна всем.

Чтобы установить систему единиц, такую как СИ, необходимо сначала создать систему величин, включая набор уравнений, устанавливающих отношения между этими величинами. Также следует выбрать небольшое число единиц, которые мы называем **базовыми единицами**, а затем определить единицы для всех других величин как произведения степеней базовых единиц, называемых производными единицами. Аналогичным образом соответствующие величины описываются как базовые величины и производные величины.

Условно физические величины организованы в фундаментальную систему, и каждая из них рассматривается как имеющая собственное измерение, которое символически представлено одной заглавной буквой. Символы для **базовых величин** и символы для обозначения их размерности задаются следующим образом (таблица 1):

Таблица 1

Базовые величины и размеры, используемые в СИ

Наименование	Символ обозначения	Единица измерения	Формула	Единица измерения	
				Рус.	Межд.
длина	l	метр	L	м	m
масса	m	килограмм	M	кг	kg
время	t	секунда	T	с	s
сила тока	I	ампер	I	A	A
температура	T	кельвин	Θ	K	K
количество вещества	n	моль	N	моль	mol
интенсивность света	I _v	кандела	J	кд	cd

Все остальные величины являются **производными величинами**, которые могут быть записаны в терминах базовых величин уравнениями физики. Размеры производных величин записываются в виде произведений степеней размеров базовых величин с использованием уравнений, которые связывают производные величины с базовыми величинами. В общем случае размерность любой величины Q записывается в виде размерного произведения

$$\dim Q = L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma} I^{\delta} \Theta^{\varepsilon} N^{\zeta} J^{\eta},$$

где $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \zeta$ и η – размерные показатели степени, которые обычно являются малыми целыми числами и могут быть положительными, отрицательными или равными нулю.

Производные единицы – это произведения степеней базовых единиц. **Когерентные производные единицы** – произведения степеней базовых единиц, которые не содержат никакого числового фактора, кроме 1. Базовые и когерентные производные единицы образуют набор когерентных единиц СИ.

Количество величин в науке не ограничено, и невозможно представить полный список производных величин и производных единиц. В таблице 2 приведены некоторые примеры производных величин и соответствующие когерентные производные единицы, выраженные непосредственно в виде базовых единиц.

Существуют некоторые производные величины Q , для которых определяющее уравнение таково, что все размерные показатели в выражении для размерности Q равны нулю. Это верно, в частности, для любой величины, которая представляет собой отношение двух величин одного и того же вида. Такие величины описывают как безразмерные или, альтернативно, как имеющие размерность «1». Когерентная производная единица для таких безразмерных величин всегда является числом «1», поскольку это отношение двух одинаковых единиц для двух величин одного и того же вида.

Есть также величины, которые вообще не могут быть описаны в терминах семи базовых величин СИ, но имеющих природу подсчета. Примерами являются число молекул, вырождение в квантовой механике (число независимых состояний одной и той же энергии) и функция распределения в статистической термодинамике (число термически доступных состояний). Такие подсчитываемые величины также обычно рассматриваются как безразмерные величины, или величины с измерением «1».

Таблица 2

**Примеры когерентных производных единиц в СИ,
выраженных в единицах базовых величин**

Наименование	Символ обозначения	Единица измерения		
		наименование	рус.	межд.
площадь	A	квадратный метр	м ²	m ²
объем	V	кубический метр	м ³	m ³
скорость	v	метр в секунду	м/с	m/s
ускорение	a	метр в секунду в квадрате	м/с ²	m/s ²
волновое число	$\sigma, \nu \sim$	обратный метр	м ⁻¹	m ⁻¹
плотность	ρ	килограмм на кубический метр	кг/м ³	kg/m ³
поверхностная плотность	ρ_A	килограмм на квадратный метр	кг/м ²	kg/m ²
удельный объем	v	кубический метр на килограмм	м ³ /кг	m ³ /kg
плотность тока	j	в амперах на квадратный метр	А/м ²	A/m ²
напряженность магнитного поля	H	ампер на метр	А/м	A/m
объемная концентрация*	c	моль на кубический метр	моль/м ³	mol/m ³
массовая концентрация	ρ, γ	килограмм на кубический метр	кг/м ³	kg/m ³
яркость	L_v	кандела на квадратный метр	кд/м ²	cd/m ²
показатель преломления**	n	един	1	1
относительная проницаемость**	μ_t	един	1	1

* В области клинической химии это количество также называют концентрацией вещества.

** Это безразмерные величины с измерением «1», и символ «1» для единицы измерения обычно не указывается для значений безразмерных величин.

Кратные и дольные единицы физической величины – это единицы, в целое число раз большие и меньшие системной или внесистемной единицы. Они образованы по десятичному принципу: кратные – умножением на 10, 100, 1 000 и т. д., дольные – умножением на 0,1, 0,01, 0,001 и т. д. Физические величины варьируются в широких пределах и имеют уникальный символ и приставку, которая предшествует базовой единице измерения. В таблице 3 перечислены все утвержденные приставки и символы.

Таблица 3

**Приставки-символы для образования кратных
и дробных единиц в системе СИ**

Множитель	Наименование	Приставка-символ		Множитель	Наименование	Приставка-символ	
10^1	deca	<i>da</i>	<i>da</i>	10^{-1}	deci	<i>d</i>	<i>ð</i>
10^2	hecto	<i>h</i>	<i>z</i>	10^{-2}	centi	<i>c</i>	<i>c</i>
10^3	kilo	<i>k</i>	<i>κ</i>	10^{-3}	milli	<i>m</i>	<i>м</i>
10^6	mega	<i>M</i>	<i>M</i>	10^{-6}	micro	<i>μ</i>	<i>мк</i>
10^9	giga	<i>G</i>	<i>Г</i>	10^{-9}	nano	<i>n</i>	<i>н</i>
10^{12}	tera	<i>T</i>	<i>T</i>	10^{-12}	pico	<i>p</i>	<i>п</i>
10^{15}	peta	<i>P</i>	<i>П</i>	10^{-15}	femto	<i>f</i>	<i>ф</i>
10^{18}	exa	<i>E</i>	<i>Э</i>	10^{-18}	atto	<i>a</i>	<i>а</i>
10^{21}	zetta	<i>Z</i>	<i>З</i>	10^{-21}	zepto	<i>z</i>	<i>з</i>
10^{24}	yotta	<i>Y</i>	<i>И</i>	10^{-24}	yocto	<i>y</i>	<i>и</i>

Согласно принятым стандартам приставки можно присоединять только к простым наименованиям, не допускается присоединение приставок к наименованию «килограмм», содержащему приставку «кило». Недопустимо присоединение приставок к кратным и дольным единицам, имеющим специальное наименование «микрометр» или «тонна». Нельзя объединять несколько приставок путем их наложения друг на друга.

Приставки-символы печатаются римскими буквами, как и единичные символы, независимо от типа шрифта, используемого в окружающем тексте, и прикрепляются к единичным символам без пробела

между приставкой и единичным символом. За исключением *da* (deca), *h* (hecto) и *k* (kilo), все множественные приставки-символы являются заглавными, а все субмножительные префиксные символы – строчными (см. таблицу 3). Все имена префиксов печатаются строчными буквами, кроме случаев, когда они используются в начале предложения: *μm* (микрометр), *mmol* (миллимоль), *GΩ* (гигаом), *THz* (терагерц) и т. д.

Кратные и дольные единицы, образованные с помощью десятичных приставок, не входят в СИ (исключение – килограмм, являющийся основной единицей).

Внесистемные единицы, которые не входят в принятую систему, образуются не только по десятичному принципу, в свою очередь, они делятся:

- на допускаемые к применению наравне с единицами СИ;
- допускаемые к применению в специальных областях;
- временно допускаемые;
- устаревшие (недопускаемые).

Так, астрономы оперируют миллисекундами, обозначаемыми ими как *mas*, и микросекундами *μas*, которые они используют в качестве единиц измерения очень маленьких углов. Эти единицы имеют значение в соответствующей области знания, сложились исторически и укоренились настолько глубоко, что ими будут оперировать и в обозримом будущем. Ряд внесистемных единиц допускается применять временно, до принятия по ним соответствующих международных решений. К ним относятся единицы: длины – морская миля (миля); массы – карат (кар); линейной плотности – текс (текс); скорости – узел (уз); ускорения – гал (Гал); частоты вращения – оборот в секунду (об/с), оборот в минуту (об/мин); давления – бар (бар). Однако если такие единицы используются, следует помнить, что преимущества СИ теряются, желательно избегать объединения не СИ-единиц с единицами СИ¹.

Мы можем группировать символы приставок, прикрепленные к символам единиц, повышая степень до положительной или отрицательной, объединять с другими символами.

¹ Международная система единиц физических величин: метод. указания. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. 16 с.

ПРИМЕР

$$\begin{aligned}2,3 \text{ см}^3 &= 2,3 (\text{см})^3 = 2,3 (10^{-2} \text{ м})^3 = 2,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3 \\1 \text{ см}^{-1} &= 1 (\text{см})^{-1} = 1 (10^{-2} \text{ м})^{-1} = 10^2 \text{ м}^{-1} = 100 \text{ м}^{-1} \\1 \text{ В/см} &= (1 \text{ В}) / (10^{-2} \text{ м}) = 10^2 \text{ В} / \text{м} = 100 \text{ В} / \text{м} \\5\,000 \text{ мкс}^{-1} &= 5\,000 (\text{мкс})^{-1} = 5\,000 (10^{-6} \text{ с})^{-1} = 5 \times 10^9 \text{ с}^{-1}\end{aligned}$$

С научной точки зрения разделение величин на базовые производные и кратные величины и т. д. является предметом соглашения и несущественно для физики предмета. Однако для соответствующих единиц требуется, чтобы определение каждой базовой единицы было сделано с особой тщательностью, чтобы удовлетворить требования, изложенные в первом параграфе пособия, поскольку они обеспечивают важную основу в науке об измерениях и оценках неопределенности.

В процессе производства экспертизы при измерениях эксперт пользуется как системными, так и внесистемными единицами. По уже указанным причинам единицы СИ обычно являются предпочтительными¹.

Более полная информация приведена в ГОСТ 8.417–2002 «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ)», которая находится в свободном доступе. В нем детально рассмотрены правила написания значений величин вместе с обозначениями единиц буквами или специальными знаками.

¹ ОК 015–94 (МК 002–97). Общероссийский классификатор единиц измерения (утв. постановлением Госстандарта России от 26.12.1994 № 366) (ред. от 26.07.2022) // КонсультантПлюс. URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 29.10.2022).

ГЛАВА 2

ТЕХНИКО-КРИМИНАЛИСТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ПРИЕМЫ ИЗМЕРЕНИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ТРАСОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ

Для определения линейных размеров (длины, ширины, высоты, толщины, глубины, радиуса, диаметра и т. д.) объектов на месте происшествия используют рулетки, мягкие и складные меры, линейки и другие измерительные приборы (рис. 1).



*Рис. 1. Измерительные приборы,
используемые криминалистом в повседневной работе¹*

¹ Иллюстративный материал заимствован из общедоступных интернет-ресурсов, не содержащих указаний на его авторов и ограничений для использования.

Точность, с которой производятся измерения данными приборами, невелика, но, как правило, отвечает требованиям практики. При производстве тератологической экспертизы применяются средства измерения с точностью до 0,1 мм.

§ 1. Измерение линейных размеров

Измерительные приборы делятся на два типа: градуированные и неградуированные. Градуированные включают в себя набор отметок (градуировок), с которыми можно сравнить интересующий элемент объекта для его измерения.

Основным градуированным измерительным прибором является **линейка** (стальная, прозрачная пластиковая и деревянная) (рис. 2), используемая для определения линейных размеров, с делениями 1 или 0,5 мм.

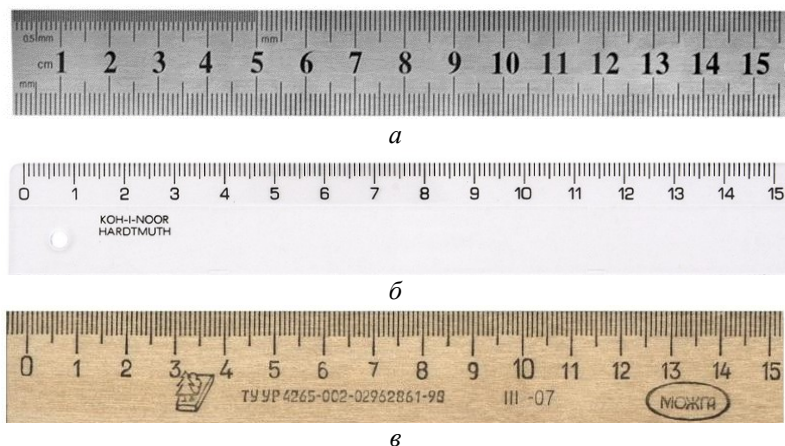


Рис. 2. Линейки, используемые для измерения линейных размеров: стальная (а), прозрачная пластиковая (б) и деревянная (в)

Несмотря на простоту устройства, измерения с помощью линеек следует производить соблюдая определенные правила (рис. 3–5). Точность измерения зависит не только от величины деления шкалы линейки, но и от правильности самой техники измерения. Глаз наблюдателя должен находиться на одной прямой линии

с отметкой шкалы линейки и точки на измеряемом объекте, от которой ведется отсчет. При этом данная прямая линия должна быть перпендикулярна плоскости объекта (рис. 3). В противном случае возможны погрешности, обусловленные явлением параллакса, их величина зависит от толщины линейки и угла отклонения глаза от вертикали (рис. 4). Например, при толщине линейки 2 мм и отклонении от вертикали на 15° ошибка достигает 0,5 мм.

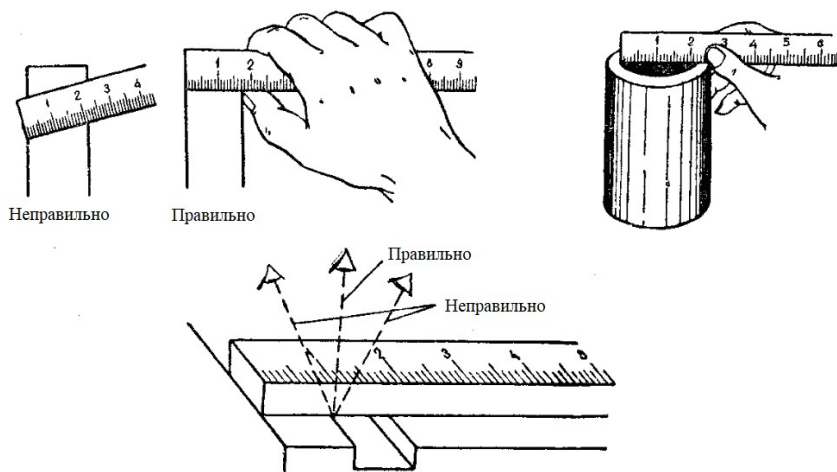


Рис. 3. Приемы измерения линейных размеров с помощью линейки

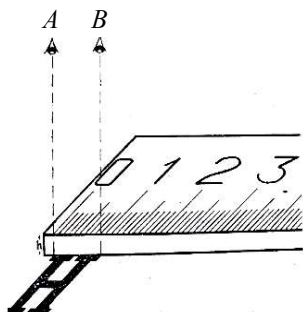


Рис. 4. Правильное положение глаза наблюдателя в момент измерения:
в начале отсчета *A*;
в конце отсчета *B*

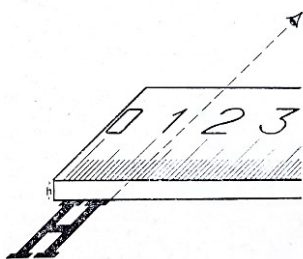


Рис. 5. Неправильное положение глаза наблюдателя в момент измерения

Прозрачные линейки наиболее удобны для **измерения плоских объектов**. Их шкала нанесена на нижнюю плоскость, что позволяет более точно произвести отсчет, так как наблюдатель может непосредственно сквозь линейку наблюдать совмещение делений шкалы с измеряемым объектом.

Измерения объемных объектов следует производить линейками, началом шкалы которых служит их торцевая часть (рис. 6). Нулевое деление линейки должно совпадать с началом измеряемого изделия. Линейку накладывают вдоль оси изделия, так как при ее перекосе размеры получаются большими.

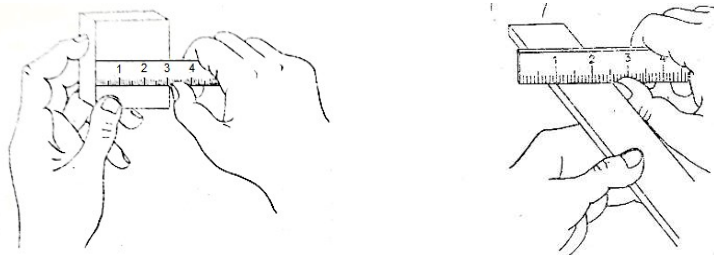


Рис. 6. Приемы измерения объемных предметов масштабной металлической линейкой

Для **измерения плоских объектов** можно использовать **циркуль, контрциркуль и масштабную линейку**. Вначале ножки циркуля раздвигают соответственно величине измеряемого объекта, а затем накладывают на шкалу масштабной линейки (рис. 7). При работе с прибором необходимо следить за тем, чтобы его ножки были хорошо зафиксированы, в противном случае это может привести к грубой ошибке. Особенно удобно использовать циркуль и контрциркуль при измерении объектов по фотоснимкам, изготовленным по правилам масштабной фотосъемки.

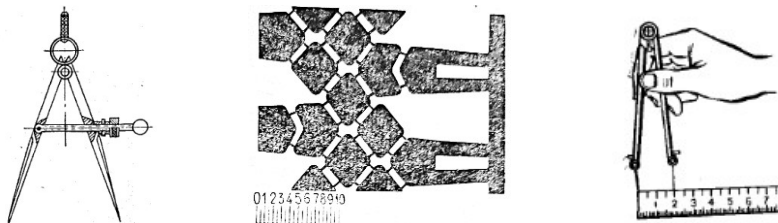


Рис. 7. Измерение плоских объектов при помощи циркуля

Рулетки бывают самосвертывающимися, простыми ручными и желобчатыми, изготовленными из металла или полотняной ленты (рис. 8).

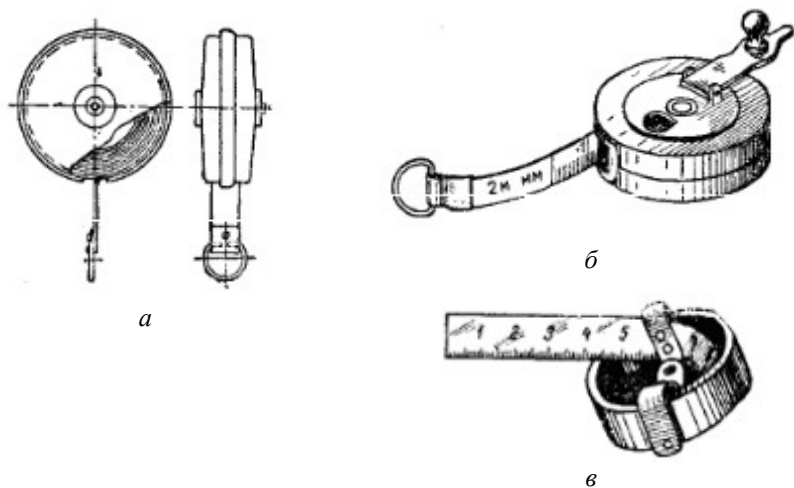


Рис. 8. Рулетки: самосвертывающаяся (а); простая (б); желобчатая (в)

В основном их применяют для **измерения больших линейных размеров**: длины, ширины, высоты и расстояния между отдельными частями, элементами или объектами. Для измерения окружности цилиндра можно плотно обернуть ленту вокруг него. При этом деление шкалы, совпадающее с нулевым делением, будет указывать на длину измеряемой окружности (рис. 9).

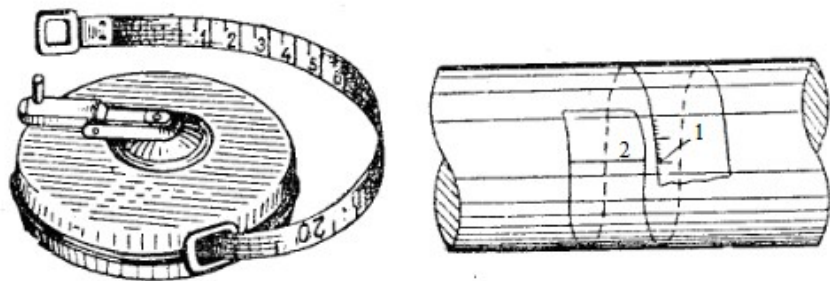


Рис. 9. Прием измерения окружности объекта 1 при помощи полотняной ленты 2

Точность измерения, которую можно получить с помощью полотняной ленты, далеко не всегда удовлетворяет требованиям, так как лента быстро вытягивается. Вместо нее предпочтительнее использовать стальные рулетки.

Для **получения наружных размеров** объектов применяют **контрциркуль**, состоящий из двух изогнутых ножек, соединенных шарниром. Размер объекта определяют наложением ножек на масштабную линейку (рис. 10, *а-б*), но перед этим контрциркуль берут правой рукой за шарнир и раздвигают его ножки так, чтобы их концы касались проверяемой детали.

На рис. 10, *в* показан случай, когда контрциркуль нельзя снять, не сбив размера. В данной ситуации оператор должен использовать вспомогательную прокладку *В*. Размером *С* будет разность между размером *А* и шириной вспомогательной прокладки *В*.

Для **измерения толщины внутренних стенок** (рис. 10, *г*) ножки контрциркуля разводят настолько, чтобы одну из них упереть в стенку отверстия, а другой захватить, кроме толщины, 20–30 мм по масштабной линейке. После вычитания из общего размера показания линейки получают толщину стенки.

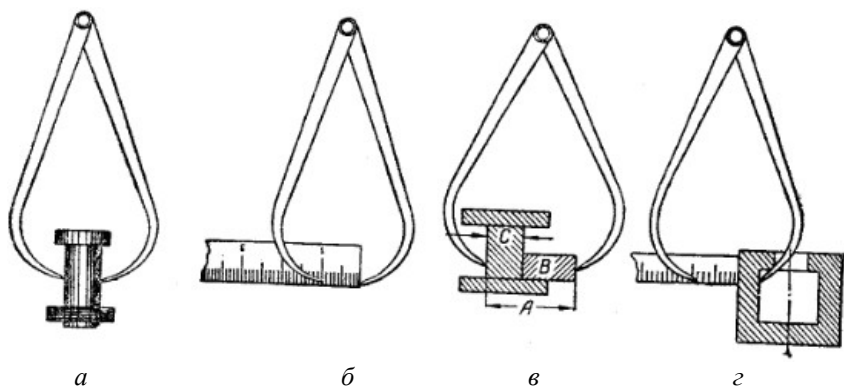


Рис. 10. Прием измерения линейных размеров при помощи контрциркуля: размер вычисляют наложением ножек на масштабную линейку (*а, б*); размер *С* определяют как разность между размером *А* и шириной вспомогательной прокладки *В* (*в*); толщину стенки рассчитывают путем вычитания из общего размера показания линейки (*г*)

Нутромеры – приборы, применяемые для **определения внутренних линейных размеров**: диаметров отверстий, ширины пазов. Они состоят из двух ножек, отогнутых наружу, а по технике измерения мало отличаются от контрциркуля (рис. 11, *а*). При измерениях его ножки разводят до легкого касания стенок измеряемого объекта. Для более точного результата торец линейки и ножку нутромера рекомендуется опереть о какой-нибудь предмет (рис. 11, *б*).

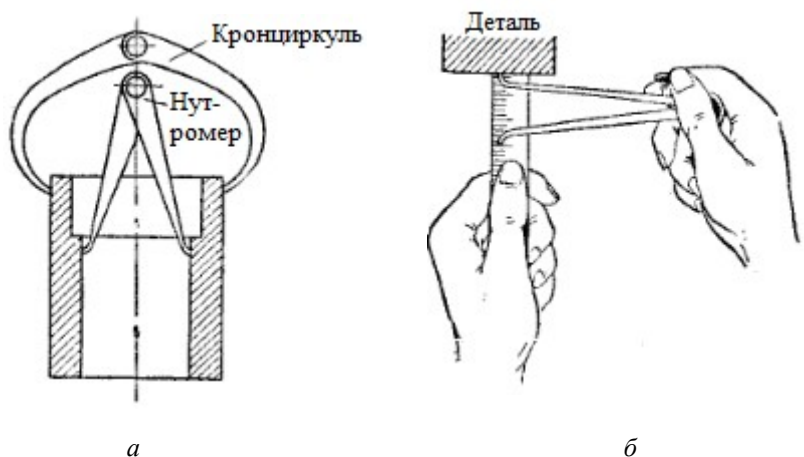


Рис. 11. Приемы измерения внутреннего и наружного диаметра при помощи контрциркуля и нутромера (*а*); упирание торца линейки в торец предмета для снятия показаний со шкалы (*б*)

Перед измерением проверяют плавность хода шарнирного соединения контрциркуля и нутромера: оно должно быть плавное, без рывков и проскальзываний. Результат окажется точным только в случае, если нутромер не будет перекошен: линия, проходящая через концы ножек, перпендикулярна к оси отверстия (рис. 12), при переносе на масштабную линейку отсутствует искажение размера детали из-за неисправности измерительного инструмента.

В противном случае эти неисправности и ошибки оператора могут вызвать существенные погрешности в измерении.

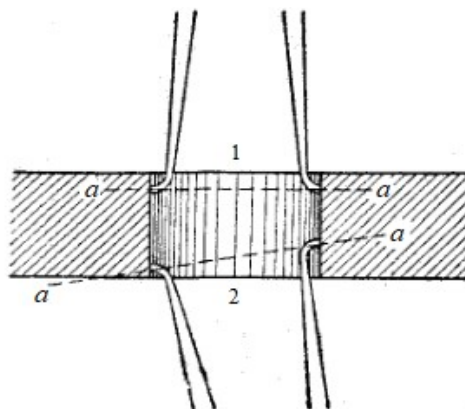


Рис. 12. Измерения внутреннего диаметра при помощи нутромера:
1 – правильное положение ножек; 2 – неправильное положение ножек

Специфичность некоторых объектов тератологической экспертизы требует более высокой точности измерений, и она может быть повышена до 0,05 или 0,02 мм за счет использования штангенинструмента. Основной деталью такого инструмента является отсчетное приспособление – линейка-штанга, на которую нанесена шкала с делениями, и подвижная рамка с вырезом, на наклонной грани которой имеется нониусная (вспомогательная) шкала, по которой отсчитывают дробные доли деления основной шкалы.

Штангенциркуль – прибор, применяемый для **определения наружных и внутренних размеров объектов** (рис. 13). Состоит из штанги и двух пар губок: нижних и верхних. Губки 1 и 4 изготовлены заодно с подвижной рамкой, скользящей по штанге. С помощью винта происходит фиксация рамки в требуемом положении. Нижние губки служат для измерения наружных размеров, верхние – для измерения внутренних. Глубиномер соединен с подвижной рамкой, передвигается по пазу штанги. С его помощью определяют глубину отверстий и углублений. Отсчет целых миллиметров происходит по шкале штанги, а отсчет долей миллиметра – по шкале нониуса, помещенной в вырезе подвижной рамки штангенциркуля.

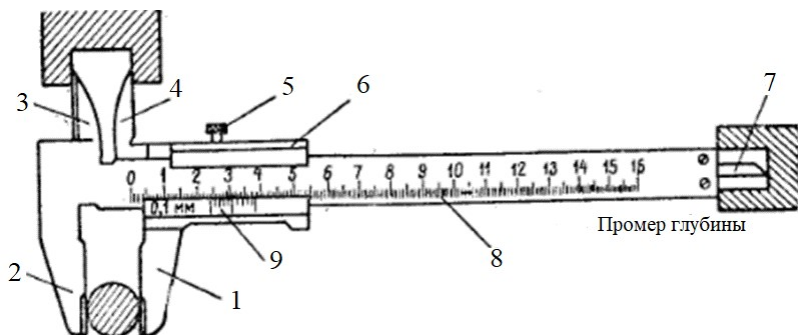


Рис. 13. Штангенциркуль с точностью измерения 0,1 мм:

- 1, 2 – нижние губки штангенциркуля;
 3, 4 – верхние губки штангенциркуля; 5 – винт; 6 – подвижная рамка;
 7 – глубиномер; 8 – штанга; 9 – шкала нониуса

Штангенциркули универсальны для измерения объектов длиной менее 19 см, внешнего и внутреннего диаметра круглых объектов или глубины отверстия.

Для измерения длины объекта необходимо взять его в руку, открыть нижние губки штангенциркуля, а затем осторожно сомкнуть губки вокруг объекта, слегка зажимая его между внутренними поверхностями, зафиксировать рамку при помощи винта и произвести измерение по шкале. В самом начале работы следует убедиться, что на губках нет износа, грязи или остатков, а в процессе измерения важно проверить, что штангенциркуль стоит перпендикулярно объекту, который измеряется, в противном случае измерения будут неточными.

Для внутренних измерений используют верхние губки штангенциркуля. Необходимо закрыть верхние губки для размещения в том пространстве, которое измеряют. Затем подвижную рамку медленно перемещают вправо до тех пор, пока наружные губки не войдут в контакт с внутренними поверхностями исследуемого объекта. Как только губки надавят на край, можно зафиксировать рамку с помощью винта, снять штангенциркуль и измерить искомое значение. Перед измерением необходимо убедиться, что верхние губки не имеют перекоса и зазоров, в процессе измерения следят, чтобы штангенциркуль был правильно выровнен относительно объекта.

Для **определения глубины** используют глубиномер на конце штангенциркуля. Обработанный конец штангенциркуля помещают в верхнюю часть измеряемого отверстия, затем выдвигают стержень до тех пор, пока он не коснется дна. Рамка фиксируется с помощью винта, после чего инструмент вынимается и показания считываются с основной и дополнительной шкал прибора. Перед измерением стоит убедиться в том, что стержень (глубиномер) инструмента не имеет деформации, которая может возникать в результате падения инструмента на пол и линейного износа.

На рис. 14 показаны неправильные положения установки губок штангенциркуля, при которых замер d не равен фактическому размеру объекта c .

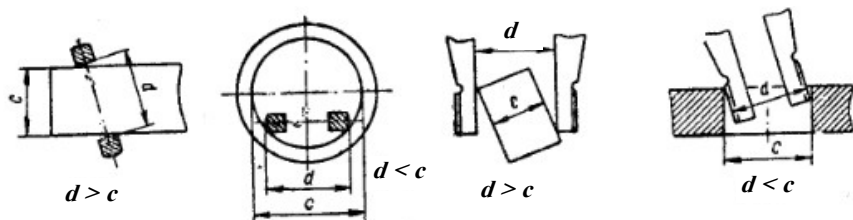


Рис. 14. Примеры ошибок оператора, допускаемых при измерении объектов

При измерении объектов штангенциркулем сначала отсчитывают по шкале целое число миллиметров на штанге, отыскивая его под первым штрихом нониуса, а затем с помощью нониуса определяют десятые доли миллиметра. Это оставшееся показание соответствует отметке, которая находится на одной линии с любой отметкой (или делением) основной шкалы. Только одно деление нониуса совмещается с одним на основной шкале.

Шкала нониуса имеет десять равных делений на длине 9 мм: таким образом, каждое деление шкалы нониуса меньше деления масштаба (линейки) на 0,1 мм. При этом замечают деление нониуса, совпадающее с делением на штанге. Порядковое число такого деления показывает десятые доли миллиметра, которые прибавляют к целому числу миллиметров. На рис. 15, а, б изображены четыре положения нониуса относительно шкалы штанги, которые показывают размеры: 0; 0,5; 6,9; 34,3 мм.

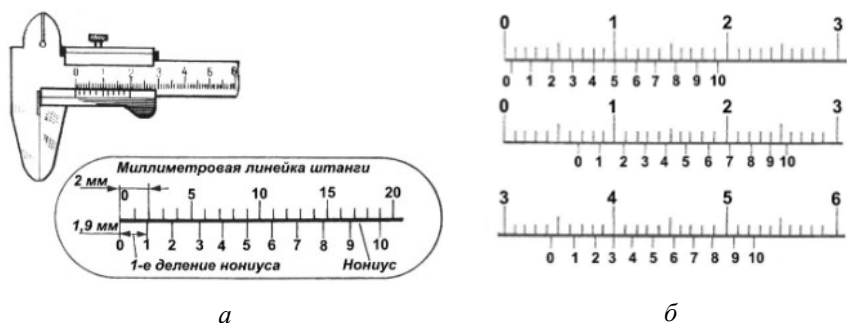


Рис. 15. Работа с основной и дополнительной измерительной шкалой: положение нониуса, соответствующее показанию «0» (губки штангенциркуля сомкнуты) (а); положение нониуса, соответствующее показаниям 0,5; 6,9; 34,3 мм (б)

Работать с нониусом и интерпретировать его показания довольно сложно по сравнению с **цифровым штангенциркулем** (рис. 16), его усовершенствованной версии, оснащенной цифровым ЖК-дисплеем, на котором отображаются все показания. Цифровые штангенциркули намного легче читать, и они часто не менее точны, чем традиционные штангенциркули.



Рис. 16. Устройство электронного штангенциркуля с цифровой шкалой

Крайне важно обнулить штангенциркуль перед выполнением измерений и переключиться на необходимую единицу измерения (мм) (рис. 17). Если пропустить этот шаг, последующие измерения будут неточными. Необходимо сомкнуть губки инструмента до упора и нажать на кнопку обнуления результатов, чтобы установить его на ноль.

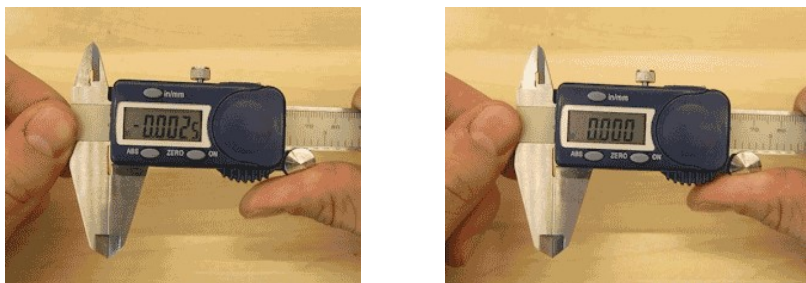


Рис. 17. Обнуление цифровой шкалы штангенциркуля

В случае необходимости проводят проверку с эталонным образцом, которым может выступать концевая мера длины – образцовая мера длины (эталон) от 0,5 до 1 000 мм, выполненная в форме прямоугольного параллелепипеда или цилиндра, с нормируемым размером между измерительными плоскостями (рис. 18). Обнуляя штангенциркуль во время работы, можно сравнить получаемые результаты измерения с размерами эталонного образца. В следующий раз, когда губки будут сомкнуты, а дисплей покажет 0,000, инструмент будет готов к работе.

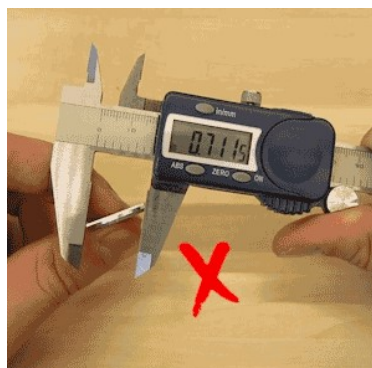


Рис. 18. Проверка средства измерения с помощью эталонного образца

В процессе **измерения линейных размеров** (толщины и ширины) необходимо убедиться, что измеряемый объект расположен параллельно нижним губкам, иначе результат будет неточным (рис. 19).



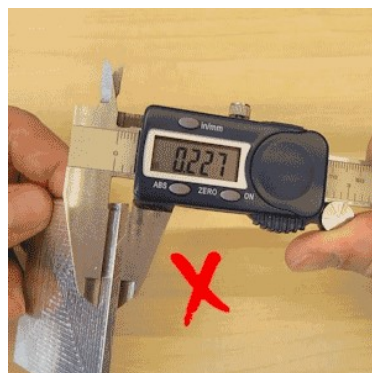
a



б



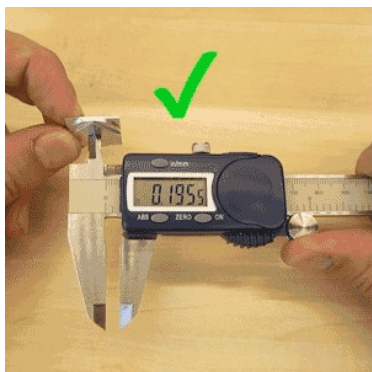
в



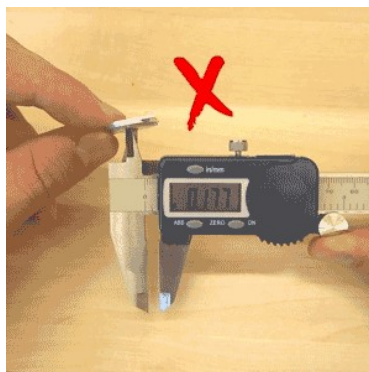
г

Рис. 19. Пример измерения длины (*a, б*) и толщины (*в, г*) металлической пластины (на рис. *б* и *г* показаны ошибки, допускаемые оператором во время измерения)

Внутренние губки используются для **измерения внутренних линейных размеров** объекта. В процессе работы с измерительным прибором важно следить, чтобы объект был перпендикулярен им (рис. 20).



a



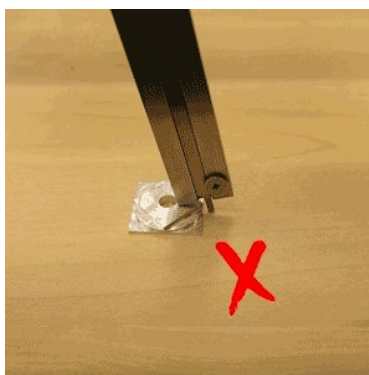
б

Рис. 20. Пример измерения внутреннего диаметра отверстия на пластине: правильное (*a*) и неправильное (*б*) положение образца относительно губок инструмента

При **использовании глубиномера** необходимо убедиться, что штангенциркуль расположен перпендикулярно измеряемой поверхности (рис. 21).



a



б

Рис. 21. Пример измерения, выполняемого с помощью глубиномера: правильное (*a*) и неправильное (*б*) положение инструмента относительно образца

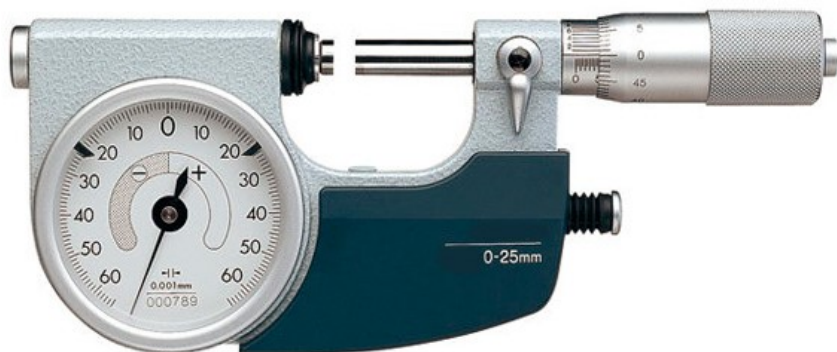
При себе рекомендуется иметь запасные источники питания, чтобы не возникло неприятных ситуаций. Цифровой прибор желательно хранить в специальной упаковке, а случаях его падения проводить сверку показаний с эталонным образцом, при расхождении показаний и невозможности устранить неисправности на месте прибор следует отдать в ремонт.

Микрометр является одним из прецизионных измерительных инструментов, используемых для **получения линейных размеров** объектов, особенно очень малых. Он обеспечивает более высокую степень точности измерения, чем альтернативные инструменты, такие как линейки и штангенциркули. Термин «микрометр» буквально переводится как «малая мера». Различные типы микрометров имеют диапазон измерения 0–25 мм, 25–50 мм, 50–75 мм и т. д. Доступны приборы в цифровом, циферблатном и нониусом исполнении (рис. 22).

Микрометр для **наружных измерений** (рис. 23) состоит из скобы и микрометрической головки. Одной из измерительных поверхностей микрометра служит торец пятки, запрессованной в скобу, а второй – торец микрометрического винта. В правой стороне скобы неподвижно закреплен стебель. В отверстие стебля запрессована втулка с внутренней микрометрической резьбой. Правый конец втулки имеет продольные прорези и наружную резьбу, на которую наворачивается гайка для устранения люфта в резьбовом соединении микрометрической пары. Правый конец микрометрического винта заканчивается конусом, который сопрягается с внутренней конической поверхностью барабанчика. Наружная поверхность барабанчика имеет резьбу, на которую наворачивается колпачок. Колпачок служит для соединения барабанчика с микрометрическим винтом и одновременно является корпусом трещотки. Она состоит из головки с нарезанными на торце зубцами, пружины и штифта, упирающегося под действием пружины в зубцы головки. Винтом головка трещотки крепится к колпачку.



a



б



в

*Рис. 22. Микрометр в исполнении:
нониусном (а); циферблатном (б); цифровом (в)*

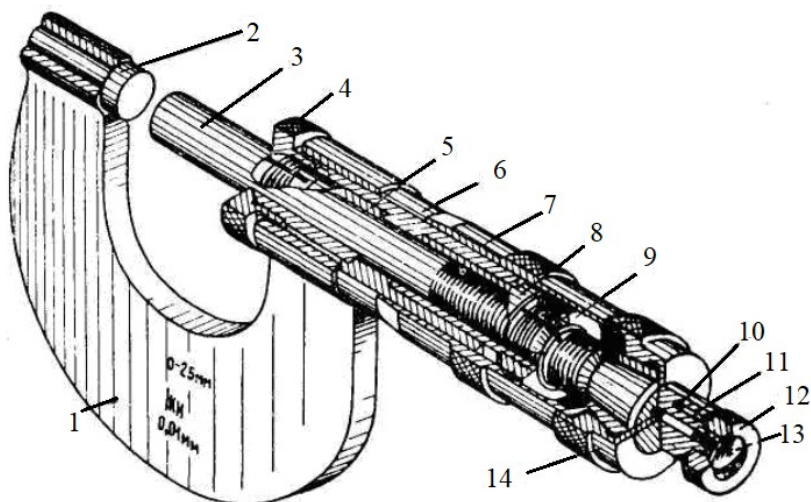


Рис. 23. Устройство микрометрического нониусного инструмента:

- 1 – скоба; 2 – пятка; 3 – торец микрометрического винта;
 4 – гайка-кольцо; 5 – втулка; 6 – стебель; 7 – барабан; 8 – втулка;
 9 – гайка; 10 – пружина; 11 – штифт; 12 – головка трещотки;
 13 – винт трещотки; 14 – колпачок

Для стопорения микрометрического винта в установленном положении служит устройство, состоящее из разрезной втулки и гайки-кольца.

Измерение в микрометре фактически осуществляется с помощью встроенного винта с шагом один или два витка на миллиметр. Это означает, что при совершении одного оборота достигается смещение, равное половине миллиметра, т. е. 0,5 мм. Минимальное значение измерения фактически показывает степень точности, с которой может работать инструмент. Она высчитывается следующим образом: шаг винта / количество делений на круглой шкале.

Если мы работаем с винтом, шаг которого составляет 1/2 мм, а число делений на круглой шкале равно 50, то, используя приведенную выше формулу, получаем: $0,5 \text{ мм} / 50 = 0,01 \text{ мм}$. Это означает, что мы можем измерять до сотой части миллиметра.

Отсчет показаний прибора происходит следующим способом:

1. Открывают микрометр, повернув храповик, а затем помещают измеряемый объект между шпинделем и пяткой. Объект держат достаточно крепко, чтобы он не выпал из микрометра под собственным весом, и в то же время осторожно, чтобы он мог легко соскользнуть (рис. 24, а).

2. Объект аккуратно зажимают между пяткой и торцом микрометрического винта поворотом храповика до тех пор, пока он не щелкнет один или два раза (рис. 24, б). Эта процедура предотвращает избыточное давление на измеряемый объект, в результате чего мы не получим ложных показаний. При необходимости пользователь может установить стопорную гайку, чтобы предотвратить затягивание или ослабление шпинделя во время интерпретации измерения.

3. Производят вычисления по схеме, представленной на рис. 25.



а



б

Рис. 24. Последовательность действий для измерений, выполняемых с помощью микрометра: размещение объекта между шпинделем и пяткой (а); зажатие объекта с помощью храповика (б)

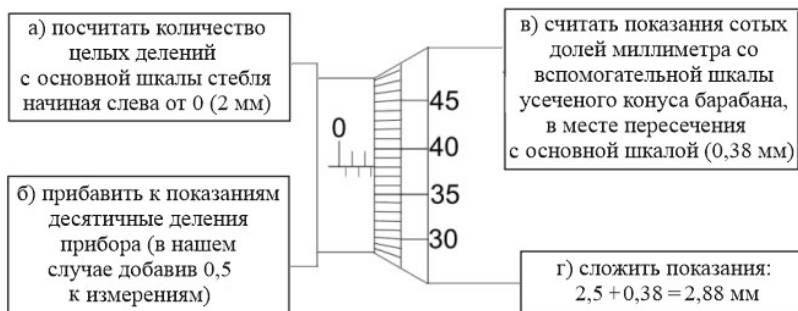


Рис. 25. Последовательность действий для вычислений показаний микрометра со шкалой нониуса

Перед началом измерений микрометры осматривают и проверяют качество их сборки. На измерительных поверхностях, стебле и скошенной части барабанчика инструментов не должно быть царапин, забоин, следов коррозии.

Важно, чтобы барабанчик свободно и плавно перемещался вдоль стебля, а микрометрический винт не имел ощутимого осевого люфта или боковой качки. При зажатом стопорном устройстве микрометрический винт не должен прокручиваться при вращении трещотки. После осмотра проверяют и, если это необходимо, устанавливают нулевое положение инструментов. Для проверки нулевого положения у микрометров для наружных измерений с пределами измерения 0–25 мм, плавно вращая трещотку, сводят измерительные поверхности микрометрического винта и пятки и после двух-трех щелчков отсчитывают показание шкал.

Если будет установлено, что при сомкнутых измерительных поверхностях винта и пятки показание отсчетных шкал не соответствует нулю, микрометр устанавливают на ноль.

Цифровой микрометр состоит из скобы, пятки, микрометрического и стопорного винта, стебля и барабана с трещоткой. На скобе располагается ЖК-дисплей с портом вывода данных, кнопкой переключения между показаниями измерений in/mm (мм/дюймы), кнопкой ORIGIN (вкл/выкл), обнуления результатов ZERO/ABS и запоминания (удержания) результатов HOLD (рис. 26).



Рис. 26. Цифровой микрометр Mitutoyo QuantuMike Review

Перед началом работы рекомендуется ознакомиться с паспортом на микрометр, проверить комплектность и протереть инструмент и измерительные поверхности чистой сухой тканью. Следует убедиться в наличии (пригодности) элемента питания и заменить в случае необходимости. При падении напряжения в системе питания электронного блока он автоматически укажет на недопустимое снижение напряжения питания на дисплее микрометра.

При первом включении (либо после замены элемента питания) производят настройку микрометра: включают микрометр при помощи кнопки ORIGIN с удержанием менее двух секунд. Далее следует аккуратно полностью сомкнуть микрометр и поверить показания отсчетных шкал. Затем устанавливают микровинтом нижний предел измерения, зафиксировав его на экране удержанием кнопки ORIGIN более двух секунд, и переключают в требуемый режим измерения «мм/дюймы» кнопкой IN/MM (рис. 27).



а



б

Рис. 27. Последовательность действий для измерений, выполняемых с помощью цифрового микрометра: включение и проверка плавности хода вращением трещотки (а); обнуление результатов и установка нижнего предела измерений (б)

Измерение проводят таким же образом, как и для микрометра с нониусом. Объект располагают между шпинделем и пяткой, после чего его осторожно зажимают поворотом за винт храповика или трещотки (рис. 28).

Кнопка ZERO/ABS также позволяет обнулить устройство в любом положении микрометрического винта. Эта функция подходит для сравнительных измерений.



a



б

Рис. 28. Последовательность действий для измерений, выполняемых с помощью электронного микрометра: размещение объекта между шпинделем и пяткой (а); зажатие объекта с помощью хrapовика (б)

В случае необходимости можно заблокировать стопорную гайку. Для удержания значения на дисплее используется кнопка HOLD: во время измерения при нажатой кнопке HOLD отображаемое значение не изменяется даже при вращении привода измерительной головки. Неактивны и другие кнопки (IN/MM, ABS/INC). При повторном нажатии кнопки HOLD микрометр выйдет из состояния удержания значения.

Показания цифровых микрометров генерируются электронным способом и отображаются на ЖК-дисплее, который может быть вместо шкалы микрометра или в дополнение к ней. Чтение показания происходит мгновенно и позволяет избежать ошибки пользователя, устраняя необходимость в интерпретации показаний по шкале нониуса. Некоторые микрометры имеют разъем для вывода данных, через который их подключают к компьютеру. Измерения можно сохранять в электронной таблице, а не записывать вручную.

В процессе эксплуатации рекомендуется не допускать грубых ударов прибора или падения на пол. Если это произошло, то, прежде чем проводить измерения, его следует повторно откалибровать.

Микрометры хранят в сухом отапливаемом помещении. Большинство микрометров поставляют с защитным футляром для хранения. Если измерительный прибор планируется не использовать длительное время, то следует убедиться, что между измерительными гранями есть небольшой зазор. В противном случае из-за влажности в помещении на гранях может образоваться коррозия, что повлияет на точность измерений.

В отличие от штангенциркулей, которые позволяют проводить несколько различных измерений (снаружи, внутри, шаг и глубина), микрометры способны выполнять только одну измерительную задачу. Так, если нужно измерить диаметр отверстия в куске дерева, а также внешнюю ширину этого куска дерева, то понадобится два микрометра: один – для измерения внутренних, второй – для измерения наружных размеров.

§ 2. Измерение углов

Транспортир позволяет размечать углы и отмечать нулевые линии непосредственно рядом с доказательствами для точных измерений. Идеально подходит для исследования брызг крови, дорожки следов обуви, определения встречного и фронтального углов в следах орудий взлома, используется в реконструкции места ДТП.

Обычно транспортир изготавливают из прозрачного пластика, он имеет два набора цифр по краю и выполнен в вариантах в виде круга или полукруга (рис. 29).

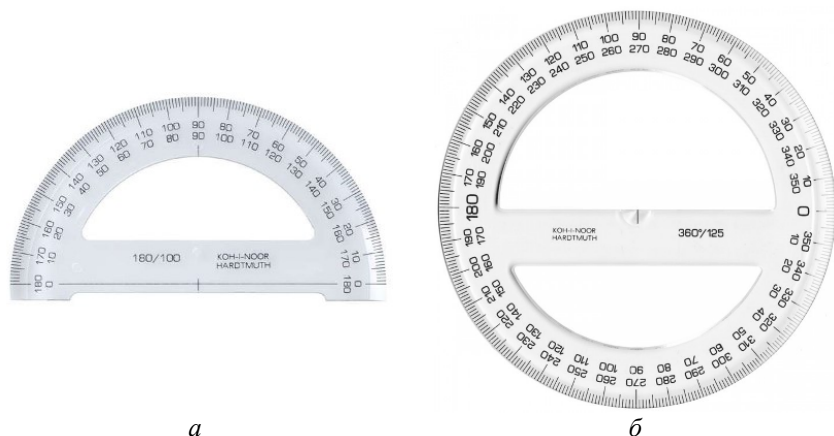


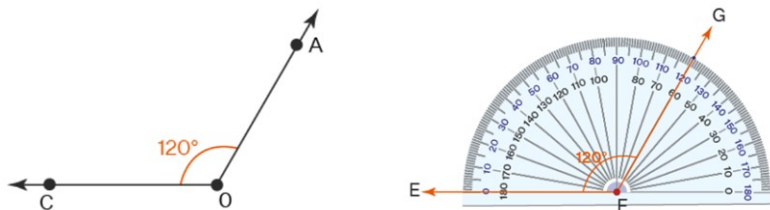
Рис. 29. Транспортиры из прозрачного пластика: на 180° (а); на 360° (б)

Измерение углов производится в градусах, радианах и оборотах.

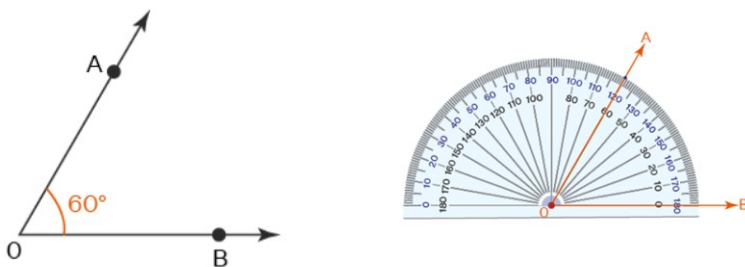
Градус (обозначается символом « $^\circ$ ») является универсальной единицей измерения угла и частью окружности, поскольку он делит ее на 360 равных частей.

Последовательность действий с инструментом для измерения следующая:

- поместить центр транспортира в вершине угла или точке пересечения линий (в центре транспортира находится маленькое отверстие или риска);
- наложить одну сторону угла на нулевую линию транспортира (это сплошная линия у основания транспортира с «0» на обоих его концах);
- произвести измерение, соблюдая следующее правило: если угол находится на левой стороне транспортира, нужно использовать шкалу внешнего края (рис. 30, а), а если на правой – шкалу внутреннего края (рис. 30, б). Число, которое пересекает другая линия угла, является искомым значением.



a



б

Рис. 30. Последовательность действий для измерений, выполняемых с помощью транспортира:

случай, когда используется шкала внешнего края (*a*);
случай, когда используется шкала внутреннего края (*б*)

В случаях измерения углов между элементами, расположенными относительно друг друга на больших расстояниях, используют разметочные капроновые нити черного или белого цвета, которые используют в строительстве для разметки на поверхности. Нить должна проходить через точки отсчета, быть туго натянута и не провисать.

Цифровой угломер позволяет измерять углы с гораздо большей точностью, чем ручной инструмент, нивелируя погрешности, вызванные человеческим фактором.

Визуально рассматриваемый вид инструмента состоит из двух основных частей – линеек, которые соединены друг с другом в одной точке (рис. 31). Прибором можно высчитывать различные углы, так как его конструкция основана на регулируемом шарнирном

соединении подвижных частей, выполняемые измерения отображаются на ЖК-экране для чтения и записи пользователем.

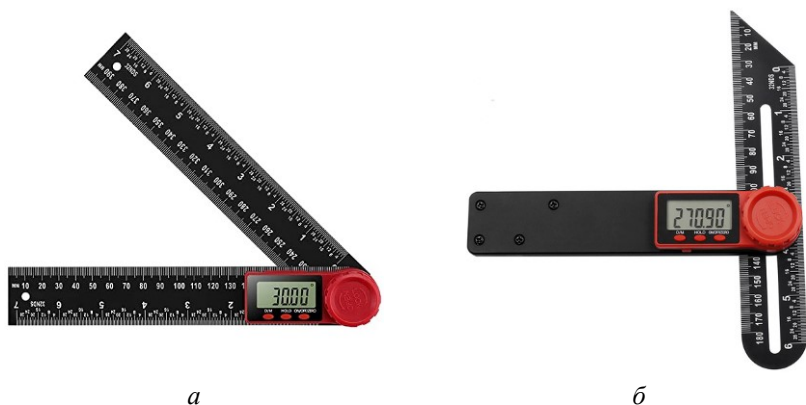


Рис. 31. Цифровые электронные угломеры:
обычный (а); со скользящим основанием (б)

Перед началом эксплуатации открывают батарейный отсек и устанавливают батарейку, соблюдая полярность. Затем прибор включают, нажав кнопку ON/OFF/ZERO, после этого на ЖК-дисплее отобразится текущее показание прибора (индикатор заряда батареи появится на дисплее, когда останется приблизительно два часа до абсолютного разряда батареи). Далее полностью складывают подвижные линейки угломера, ослабив механический фиксатор, и поворачивают подвижную часть, установив угломер на ровную поверхность (рис. 32). При необходимости можно сбросить показания на дисплее, нажав кнопку ON/OFF/ZERO.

Перед измерением оператор выбирает единицу измерения кнопкой D/M (доступно две единицы: градусы, градусы-минуты) и ослабляет механический фиксатор. Затем он без значительных усилий прикладывает угломер к измеряемому углу и считывает с дисплея измеренное значение угла (рис. 33). Измерения выводятся с учетом десятых или сотых долей градусов, что зависит от класса точности прибора.



Рис. 32. Основные части цифрового электронного угломера с механическим фиксатором

Для фиксации текущего показания нажимается кнопка HOLD. На экране отобразится значок Н. Во время измерения при нажатой кнопке HOLD отображаемое значение не изменяется даже при вращении привода. Возврат к измерениям осуществляют повторным нажатием кнопки HOLD.

Для выключения прибора удерживают нажатой кнопку ON/OFF/ZERO. Через 5–10 минут он автоматически выключается.

Если прибор уронили или он выдает неточные результаты измерения, следует переустановить точку нуля. Для калибровки нужно поместить инструмент на ровную поверхность в сложенном виде и включить его, нажав на кнопку ON/OFF/ZERO, чтобы откалибровать точку нуля.

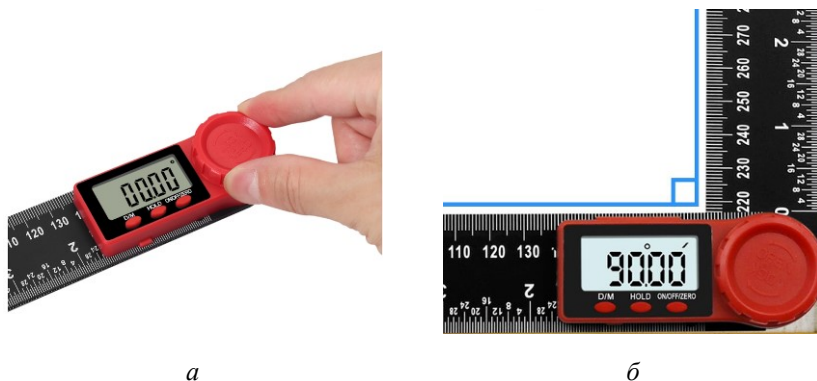


Рис. 33. Последовательность действий для измерений, выполняемых с помощью электронного угломера: включение устройства и ослабление фиксатора (а); снятие показаний ЖК-дисплея (б)

§ 3. Применение оптических микроскопов

В общей массе объектов трасологической экспертизы весомую долю составляют предметы со следами взлома, замки со следами отмыкания, пломбы и запорно-пломбировочные устройства со следами воздействия постороннего предмета, изделия массового производства. Следы на их поверхностях имеют незначительные размеры, что обуславливает применение для их изучения, в том числе измерений, специального микроскопического оборудования.

Современный оптический микроскоп представляет собой целый исследовательский комплекс. Он сочетает аппаратную часть (оптическую и осветительную системы, соединенные посредством цифровой видео- или фотокамеры с компьютером) и программное обеспечение, предназначенное для ввода и анализа изображений исследуемых объектов.

Экспертно-криминалистические подразделения МВД России комплектуются широким спектром оптических микроскопов отечественного и иностранного производства. Рассмотрим устройство, технические характеристики и приемы работы на наиболее распространенных из них.

Микроскоп стереоскопический панкратический МСП-1 (вариант комплектации 3) (ОАО «ЛОМО», Санкт-Петербург) предназначен для наблюдения прямого объемного изображения непрозрачных объектов при плавном изменении увеличения панкратической системой в широком диапазоне $5\text{--}160\times$ (рис. 34).



Рис. 34. Микроскоп стереоскопический панкратический МСП-1 (вариант комплектации 3): 1 – окуляр; 2 – оптическая головка; 3 – объектив; 4 – выносная штанга; 5 – штатив

Увеличение определяется сочетанием zoom объектива $1,0\text{--}4,0\times$, сменных объективов ($0,5$ и $2\times$) и окуляров (10 и $20\times$)¹. Линейное поле зрения окуляра $10\times$ – 22 мм, окуляра $20\times$ – 12 мм. Особенностью названной комплектации является наличие штатива с выносной штангой, фокусировочным механизмом и кронштейном для оптической головки микроскопа. Посредством штатива оптическая головка может перемещаться в вертикальном направлении (до 300 мм), в горизонтальном направлении (до 320 мм), а также возможен ее наклон

¹ МСП-1 // ЛОМО. URL: <http://www.lomo.ru/production/grazhdanskogo-naznacheniya/mikroskopy/mikroskopy-tekhnicheskie/msp-1/> (дата обращения: 10.01.2022).

на 45°. Это позволяет проводить изучение следов на крупногабаритных объектах (оконная рама, сейф и т. д.) без необходимости их дополнительного разделения. При визуальном наблюдении оценить размеры выявленных признаков позволяет шкала, содержащаяся на одном из окуляров 10^x. В комплект включен кольцевой светодиодный осветитель с настольным блоком питания, обеспечивающим плавную регулировку яркости. Источником косопadaющего света, необходимого для исследования трасологических следов, может выступать осветитель с двумя оптоволоконными жгутами с галогенной лампой 150 Вт. Для передачи изображения на компьютер используется цифровая камера, в частности МС-10 со светочувствительной матрицей CMOS размером 1/2,3", которая устанавливается на вертикальный тубус тринокулярной насадки.

Полученные изображения вводятся в компьютер с помощью программы «Микроанализ МСview». При ее запуске эксперту на главном экране представляются рабочие области: панели главного меню, инструментов, управления камерой, информации о текущем разрешении и увеличении, а также окно захвата изображения. На панели управления камерой предусмотрены выбор разрешения сохраняемого изображения, установка значения выдержки и баланса белого, корректировка цветопередачи.

При исследовании объектов трасологической экспертизы возникает необходимость изучения размерных характеристик объектов и следов. Программа позволяет осуществлять их линейные и угловые измерения¹.

Обязательным условием корректного проведения этой операции являются точная калибровка и правильный выбор увеличения микроскопа на панели инструментов перед съемкой изображения, так как разрешение (количество пикселей на единицу длины) записывается в файл при съемке.

Перед калибровкой следует установить линейную меру (объект-микронметр) под микроскоп и получить ее четкое изображение. При этом выбирается 100 % масштаб отображения в окне видеозахвата. После вызова мастера калибровки в закладке «Опции» поверх изображения в окне видеозахвата отобразится калибровочная линейка. Нужно добиться ее соответствия с линейной мерой путем растягивания либо

¹ Руководство пользователя. Программное обеспечение МСview. СПб., 2012. 24 с.

сжатия за ее края. Затем в окне мастера калибровки задаются значение увеличения объектива, реальное значение длины линейной меры и единица измерения (см, мм, мкм и т. д.).

В диалоговом окне редактора изображений «Микроанализ MSview» необходимо в закладке «Измерения» установить в калибровочной таблице значение в соответствии с выбранным увеличением микроскопа. Программное обеспечение позволяет производить двумерные измерения на изображении как в режиме реального времени, так и на сохраненных снимках. Все линии измерений записываются программой в новый слой, что позволяет легко удалять, редактировать, изменять видимость и экспортировать их с помощью меню «Слой».

Для измерения расстояния между двумя точками на снимке в закладке «Измерения» выбирают инструмент «Линия > Произвольная линия». В случае, когда необходимо определить размер следа строго под прямым углом к его краям, в частности ширину следа скольжения, рекомендуется выбрать инструмент «Параллель». Одну из параллельных прямых совмещают с одной из границ следа, другую – с противоположной. Программа «Микроанализ MSview» автоматически строит перпендикуляр между ними и вычисляет его длину с точностью до 0,01 мм (рис. 35).

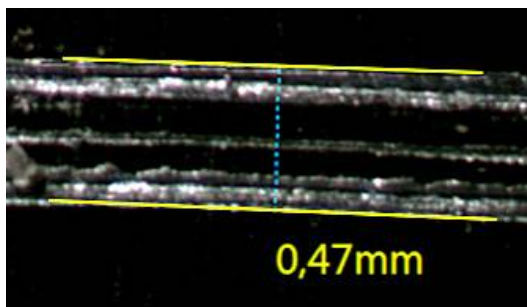


Рис. 35. Измерение ширины следа скольжения

При измерении диаметра, например, следа сверления целесообразно использовать инструмент «Круг > Две точки» из вкладки «Измерения». Программа строит окружность по двум диаметрально

противоположным точкам, отмеченным экспертом на границах следа, и автоматически вычисляет диаметр полученной окружности.

Измерения угловых величин, в частности определение взаимного расположения признаков в следе, производятся с помощью инструмента «Угол», который строит угол по трем точкам и вычисляет с точностью до 0,01 градуса (рис. 36).

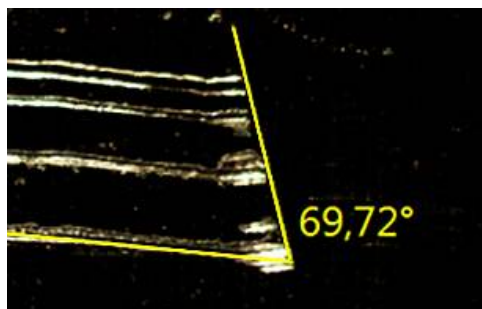


Рис. 36. Измерение встречного угла в следе скольжения

При изучении частных признаков в статических следах орудий взлома выявляются такие характеристики, как форма, размеры, расположение выступов и углублений. В отношении дугообразных деталей эксперты традиционно ограничиваются указанием только их формы, поскольку определение их размерных характеристик требует дополнительных построений и расчетов по формулам. Инструмент «Дуга» во вкладке «Измерения» позволяет по трем выделенным точкам построить ее и получить геометрические параметры: длину и радиус.

При размещении иллюстраций микроследов в заключении эксперта указывается увеличение микроскопа. Однако воспринять их реальные размеры достаточно затруднительно в связи с различным масштабированием изображения в документе. Поэтому рекомендуется перед сохранением изображения наносить на снимок масштабный отрезок, по которому можно судить об истинных размерах следа. Это значительно облегчит проведение дополнительной экспертизы по фотоснимку без необходимости повторного исследования объекта (рис. 37).

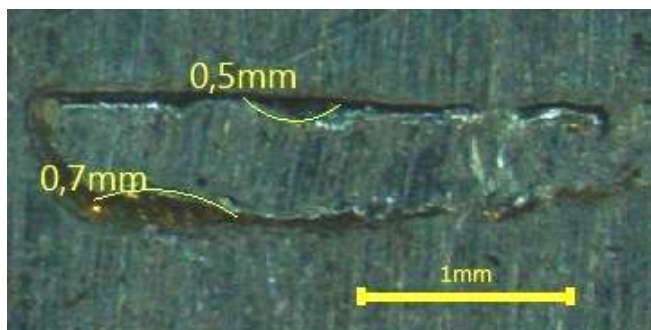


Рис. 37. Пример использования команд «Масштабный отрезок» и «Дуга» для определения увеличения и размеров

При проведении сравнительного исследования способом сопоставления может использоваться принцип построения геометрических фигур, который заключается в соединении прямыми линиями однозначных частных признаков с дальнейшим сравнением полученных геометрических фигур (форма, размер сторон, углы между сторонами и т. д.). Значительно облегчает осуществление этой операции инструмент «Многоугольник». На изображении следа отмечаются с помощью левой клавиши манипулятора мыши точками сопоставляемые признаки. Нажатием правой кнопки мыши процесс для построения многоугольника завершается. Программа вычисляет периметр полученной фигуры (рис. 38).

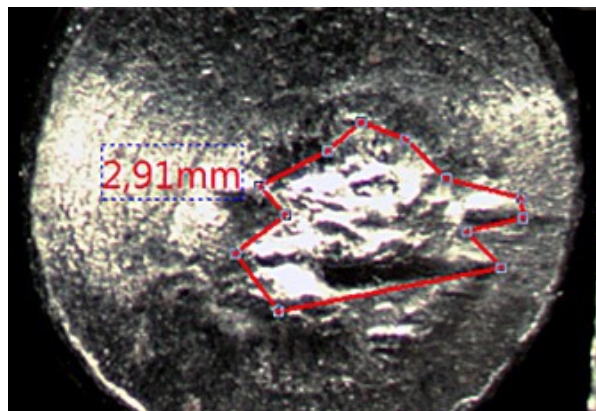


Рис. 38. Использование инструмента «Многоугольник» для построения геометрических фигур при проведении сравнения

Параметры всех объектов, наложенных на изображение, показываются в листе измерений, доступном в меню «Просмотр > Лист измерений».

Эффективным инструментом программы «Микроанализ View» является «Отображение измерительной сетки». Наложение сетки может осуществляться в двух режимах: автоматическом, когда программа сама подбирает частоту сетки в зависимости от выбранного увеличения и единицы измерения, и ручном, позволяющем пользователю самостоятельно задавать нужную частоту линий.

Особенностью **стереомикроскопа Leica M125** (Leica Microsystems, Германия) являются модульный принцип его компоновки и совместимость с широким спектром современных систем и устройств: объективов, окуляров, источников света, камер фиксации изображения – рис. 39)¹. За счет этого обеспечивается возможность создания конфигурации, оптимальной для исследования трасологических объектов (оптическая головка, укомплектованная объективом PlanApo 1,0^x, окулярами 10^x, цифровой камерой Leica DMC2900). Система характеризуется диапазоном увеличений от 8 до 100^x, линейным полем зрения – 28,8 мм. Трансфокатор микроскопа 12,5:1 позволяет работать с объектами различных размеров. Благодаря полной апохроматической коррекции оптики удается получать изображения высокой контрастности, в истинном цвете и без хроматической аберрации.

Выбор источников света для данного микроскопа также достаточно широк. Для изучения трасологических следов необходим кольцевой осветитель, несомненным преимуществом которого является возможность включения различных комбинаций светодиодов (по всей окружности, на ее половине или четверти, отдельного светодиода). Это позволяет всесторонне изучать и фиксировать следы, не изменяя пространственного положения объекта. Для точечной подсветки объекта под различными углами и на минимальном расстоянии от него удобен осветитель с двумя гибкими кронштейнами длиной 500 мм. Заслуживает внимания и коаксиальная светодиодная

¹ Leica M205 A, Leica M205 C, Leica M165 C & Leica M125. Stereomicroscopes. Technical Information // Leica Microsystems. URL: <https://www.leica-microsystems.com/products/stereo-microscopes-microscopes/p/leica-m125-c/downloads/> (дата обращения: 10.01.2022).

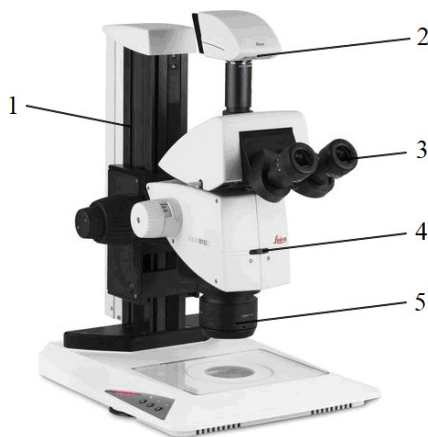


Рис. 39. Стереомикроскоп Leica M125: 1 – штатив; 2 – цифровая камера; 3 – окуляр; 4 – оптическая головка; 5 – объектив

подсветка, лучи которой направлены через объектив микроскопа. Она позволяет, не создавая тени, изучать глубокие следы, например несквозные следы сверления. Все осветители имеют возможность ступенчатой регулировки яркости освещения.

Ввод изображений с цифровой камеры в компьютер осуществляется при помощи программы Leica Application Suite (LAS). Основным инструментом ее интерфейса является командная строка, вкладки которой позволяют изменять различные параметры камеры и получаемых ею изображений. Так, с помощью вкладки «Захват» выбирают формат изображения, экспокоррекцию, настройку баланса белого, усреднение по соседним точкам (режим HDR).

Для обработки и анализа полученных изображений используется программа ImageScope Color, которая позволяет помимо линейных и угловых измерений выполнять такие операции, как кадрирование, поворот, изменение размера, яркости и контраста, конвертирование цветного изображения в полутоновое (черно-белое)¹, вычитание фона, коррекция баланса цветов, фильтрация шумов и др.

При измерениях по изображению необходимо, чтобы измеренные величины были представлены в физических единицах, а не в пикселях.

¹ Руководство пользователя. Программное обеспечение анализа изображений ImageScope Color (описание версий Lite, S, M). М., 2013. 128 с.

Задать схему калибровки можно двумя способами: калибровать по изображению объекта-меры, размеры которого известны, или пересчитать из калибровочной схемы по известной разнице увеличений.

Создание новой схемы по изображению объекта-меры производится через одноименное диалоговое окно. Для установки калибровки размеров необходимо:

- с помощью выпадающего списка установить требуемые физические единицы измерения (нм, мкм, мм, см);
- на изображении по объекту, длина которого известна в физических единицах измерения, с помощью указателя манипулятора мыши отметить отрезок, соответствующий его краям;
- в графу «Размер в единицах» ввести длину отрезка в физических единицах, а в графу «Увеличение» – значение увеличения микроскопа или увеличения используемого объектива микроскопа. Имя схемы будет автоматически сформировано из значения увеличения.

Рекомендуется до начала измерений создать схемы для всех объективов микроскопа или набора часто используемых увеличений.

Если существует хотя бы одна схема, установленная по объекту-мере, с известным увеличением, то из нее можно создать другие схемы путем пересчета. Для этого в соответствующем диалоговом окне указывают увеличение и название новой схемы. Однако следует помнить, что пересчитанные схемы могут использоваться только для приблизительных оценок размеров.

Для проведения измерений вызывают пункт «Ручные измерения» в меню «Измерения». В диалоговом окне содержатся набор кнопок для активации режима задания измерительных объектов различных типов, а также таблица, в которую помещаются вычисленные значения признаков объектов (рис. 40).

Рассмотрим некоторые из измерительных объектов, чаще всего применяемых при проведении трасологической экспертизы.

Кнопка 7 включает режим измерения отрезков, задаваемых путем указания конечных точек.

Диаметр круга можно измерить, задав его с помощью кнопки 3, указав три точки, лежащие на окружности.

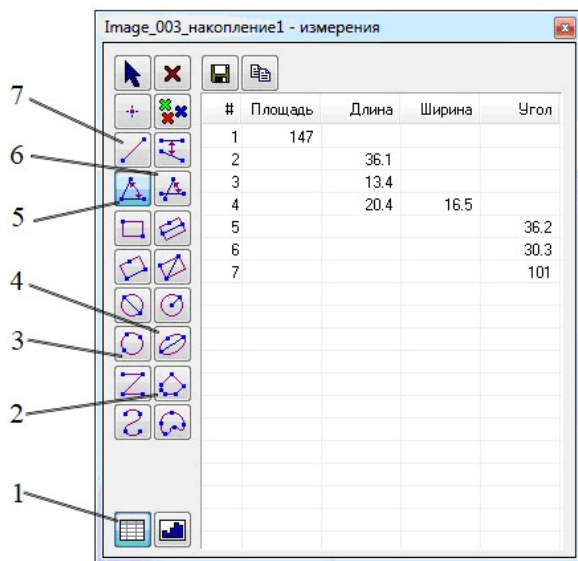


Рис. 40. Диалоговое окно ручных измерений:

- 1 – кнопка изменения размеров диалогового окна;
- 2 – кнопка включения режима измерения многоугольника;
- 3 – кнопка измерения диаметра круга по трем точкам на окружности;
- 4 – кнопка включения режима измерения эллипса;
- 5, 6 – кнопки измерения углов;
- 7 – кнопка включения режима измерения отрезков

Кнопка 2 включает режим измерения параметров многоугольника. Чтобы задать измерительный объект в этом режиме, необходимо последовательно установить курсор в вершины многоугольника и щелкнуть левой кнопкой мыши.

Кнопка 4 включает режим измерения эллипса. Чтобы задать измерения в этом режиме, помещают курсор манипулятора мыши в точку, соответствующую одной из вершин эллипса, и щелкают левой кнопкой мыши; переносят курсор в точку, соответствующую противоположной вершине эллипса, и щелкают левой кнопкой мыши; затем, перемещая курсор мыши, растягивают эллипс до необходимой ширины и нажимают левую кнопку мыши для завершения задания эллипса.

В программе используются два варианта измерения углов: кнопка 5 включает режим измерения углов, задаваемых с помощью указания

вершины угла и двух лучей, кнопка *б* – углов, задаваемых с помощью указания двух отрезков, лежащих на его сторонах.

Для того чтобы освободить экранное пространство в процессе измерения объектов, можно минимизировать размеры диалогового окна «Измерения», нажав на кнопку *1*, которая скрывает или показывает часть диалога, содержащую таблицу с вычисленными значениями признаков.

При изучении с большим увеличением несквозных следов сверления на металле эксперты сталкиваются с недостаточной глубиной резко изображаемого пространства. Режущие кромки сверла расположены под определенным углом друг к другу, в результате чего дно следа имеет коническую форму. Эта задача решается путем комбинирования серии цифровых изображений, на которых в фокусе находятся различные участки объекта наблюдения. Для активации алгоритма используется пункт меню «Изображение > Расширенный фокус». Эксперт осуществляет съемку следа, постепенно изменяя плоскость фокусировки от верхней границы до дна следа (или наоборот). Сфокусированные участки выделяются и объединяются программой в одно изображение со значительно большей глубиной резкости (рис. 41).

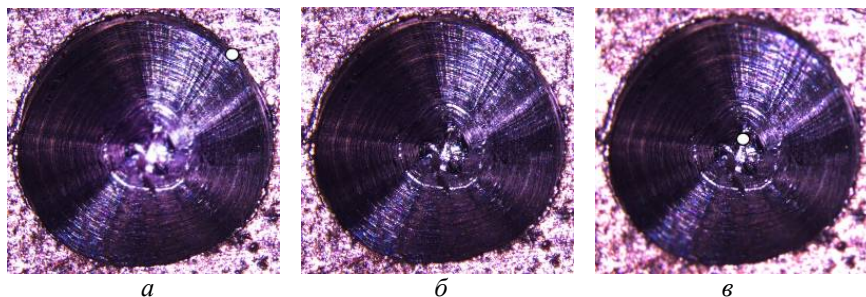
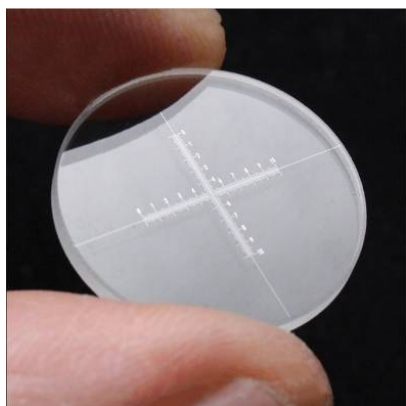


Рис. 41. Использование инструмента «Расширенный фокус» при съемке несквозного следа сверления на металле: фокусировка на верхней границе (*а*); фокусировка на дне следа (*б*); полученный результат (*в*)

§ 4. Принадлежности для линейного измерения величины изображения объектов, рассматриваемых в микроскоп

Окуляр-микрометр и **окулярные сетки** представляют собой стеклянный диск, на котором нанесен ряд равномерно расположенных линий (рис. 42, *а*). Они помещаются в один из окуляров микроскопа (рис. 42, *б*), однако расстояние между вытравленными линиями на стекле зависит от объектива, установленного на микроскоп и используемого для наблюдения за объектом. Чтобы определить точное расстояние между линиями окулярного микрометра или размеры ячейки окулярной сетки, шкалу необходимо откалибровать с помощью объект-микрометра.



а



б

Рис. 42. Стеклянный диск со шкалой (*а*),
помещаемый в окуляр микроскопа (*б*)

Объект-микрометр представляет собой пластинку, на поверхности которой нанесена шкала общей длиной 1 мм с ценой деления 0,01 мм (или 10 мкм), для калибровки микроскопов (рис. 43).

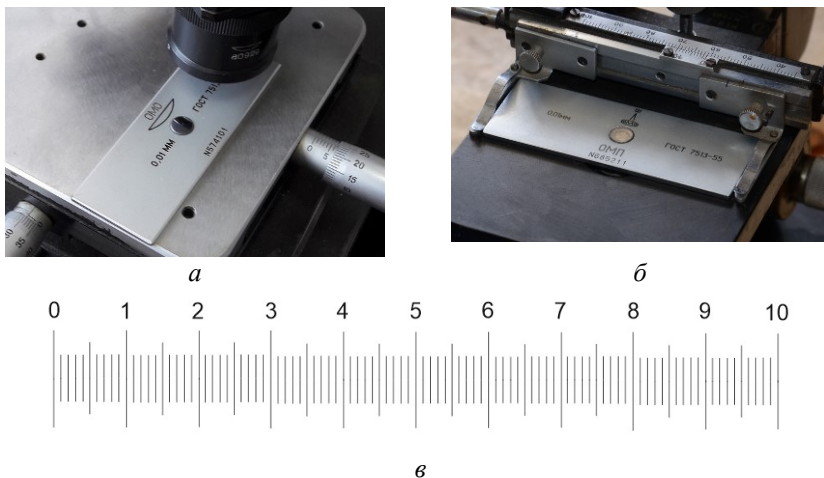


Рис. 43. Объект-микрометры отраженного света (ОМО) (а), проходящего света (ОМП) (б) и их шкала (в)

Объект-микрометры отраженного света (ОМО) и проходящего света (ОМП) предназначены для определения увеличения линейного поля зрения микроскопа, а также цены деления окулярных шкал и сеток.

Чтобы откалибровать окуляр-микрометр для конкретного объектива и узнать цену деления, его накладывают на объект-микрометр и определяют количество делений на линейке окуляра, ровно совпадающих с делениями на линейке объект-микрометра. Допустим, что шесть делений на линейке окуляр-микрометра точно помещаются между двумя делениями линейки объект-микрометра (рис. 44). Так как одно деление предметного микрометра равно 0,01 мм, или 10 мкм, то мы 10 делим на 6 и получаем 1,66 мкм – цену одного деления окуляр-микрометра. Тогда для определения размеров объекта можно использовать число делений, занимаемых им при наблюдении в микроскоп, путем умножения общего числа делений, занимаемых объектом в пространстве, на цену деления окуляр-микрометра (рис. 45).

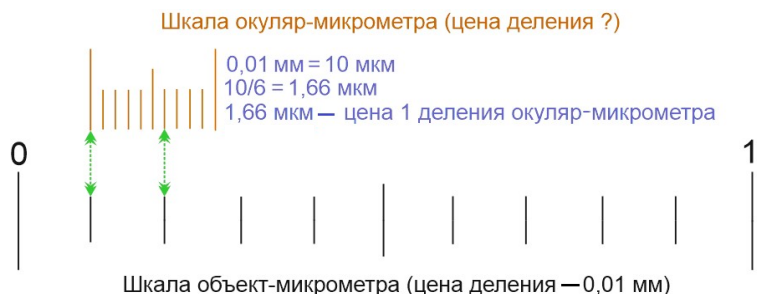


Рис. 44. Пример совмещения неподвижной шкалы с делениями на стеклянной пластине окуляр-микрометра со шкалой объект-микрометра

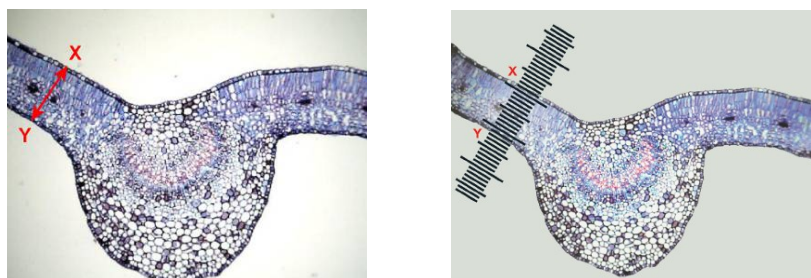


Рис. 45. Пример определения линейного размера участка (у-х), занимаемого объектом, через линейку окуляр-микрометра

ПРИМЕР

Если бы объект занимал пространство с семнадцатью делениями, то конкретное измерение было бы $17 \times 1,66$, или 28,22 мкм (рис. 46).

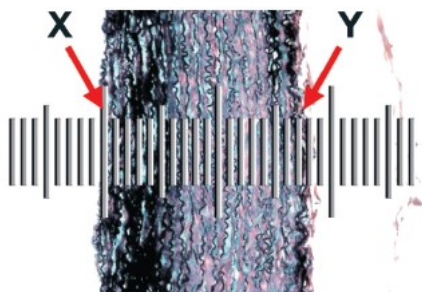


Рис. 46. Пример определения пространства занимаемым объектом посредством наблюдения через окуляр-микрометр

Очень редко получается так, что несколько линий окулярного микрометра размещаются между двумя делениями на линейке объект-микрометра. В этом случае для определения цены деления окуляр-микрометра количество линий микрометра – предметного столика делят на общее количество линий, занимаемых шкалой окуляр-микрометра. Допустим, что одиннадцать делений на линейке окуляр-микрометра точно помещаются между ста делениями шкалы объект-микрометра (рис. 47). Так как одно деление окулярного микрометра равно 0,01 мм, или 10 мкм, то мы 100 умножаем на 10 и получаем 1 000 мкм, затем 1 000 делим на 11 и получаем 90,9 мкм, или 0,0909 мм, – цену одного деления окуляр-микрометра.

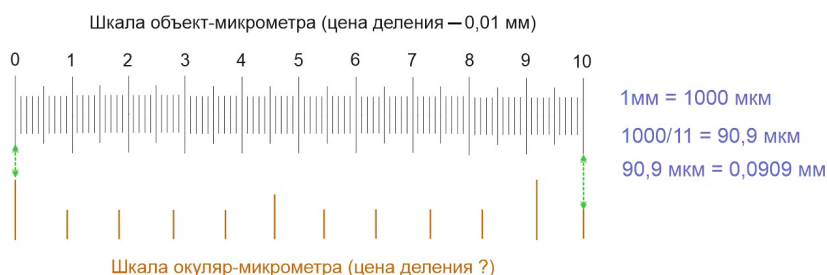


Рис. 47. Пример совмещения неподвижной шкалы с делениями на стеклянной пластине окуляр-микрометра со шкалой объект-микрометра

Устройство и принцип работы винтового окулярного микрометра. В фокальной плоскости окуляра расположены неподвижная шкала с делениями от 0 до 8 мм, подвижное перекрестие и индекс в виде биштриха (рис. 48).

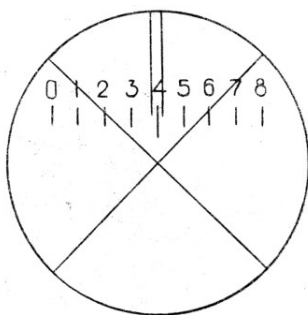
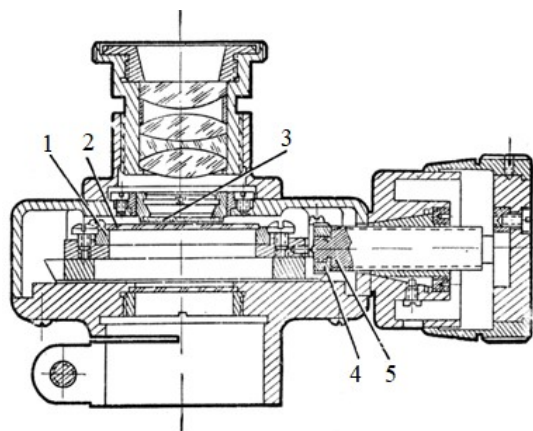
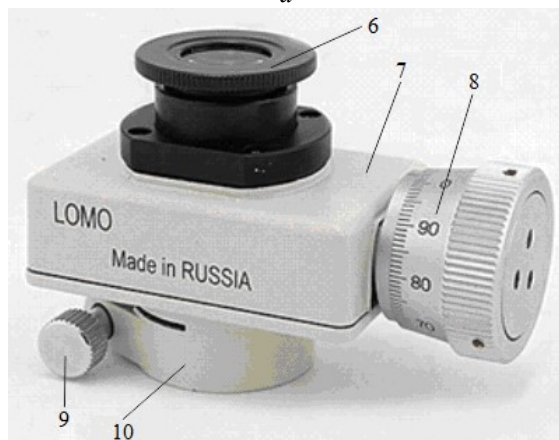


Рис. 48. Неподвижная шкала с делениями на стеклянной пластине с подвижным перекрестием

Неподвижная шкала нанесена на пластинку, а перекрестие и индекс – на подвижную пластинку (рис. 49, *а*). При вращении микрометрического винта перекрестие и биштрих перемещаются в поле зрения окуляра относительно неподвижной шкалы. Шаг винта равен 1 мм.



а



б

Рис. 49. Устройство (*а*) и общий вид (*б*) винтового окулярного микрометра:
 1 – ползун; 2 – подвижная пластина с нанесенным перекрестием;
 3 – пластина со шкалой; 4 – ограничительная гайка; 5 – винт;
 6 – окуляр с диоптрийным механизмом; 7 – кожух; 8 – барабан;
 9 – винт; 10 – основание с хомутом

При повороте винта за накатанную часть барабана на один оборот биштрих и перекрестие в поле зрения окуляра переместятся на одно и то же деление шкалы. Следовательно, неподвижная шкала в поле зрения служит для отсчета полных оборотов барабана винта, т. е. целых миллиметров.

Барабан по окружности разделен на сто частей; поворот барабана на одно деление соответствует перемещению перекрестия на 0,01 мм. Таким образом, шкала барабана служит для отсчета сотых долей миллиметра.

Полный отсчет по шкалам окулярного микрометра складывается из отсчета по неподвижной шкале и отсчета по барабану винта. Отсчет по неподвижной шкале в поле зрения определяют положением биштриха, т. е. числом делений шкалы, на которое переместился биштрих, считая от нулевого деления шкалы.

Отсчет по барабану микрометрического винта производят так же, как и на обычном микрометре, т. е. находят деление шкалы барабана, которое оказалось против индекса, нанесенного на неподвижном цилиндре.

ПРИМЕР

Биштрих в поле зрения расположен между делениями «5» и «6» неподвижной шкалы, а индекс находится против деления «35» шкалы барабана. В поле зрения по шкале окуляра отсчитывают целые миллиметры – биштрих не дошел до деления «6»; следовательно, отсчет будет 5 мм. Так как цена деления шкалы барабана равна 0,01 мм, то отсчет по барабану будет $0,01 \cdot 35 = 0,35$ мм. Полный отсчет по шкалам равен $5 + 0,35 = 5,35$ мм.

Микрометр состоит из кожуха, основания с хомутом, который надевается на тубус микроскопа и закрепляется винтом, окуляра с диоптрийным механизмом, пластинки в оправе, укрепленной в кожухе (см. рис. 49, б), отсчетного приспособления, состоящего из микрометрического винта и ограничительной гайки, отсчетного барабана, ползуна с пластинкой.

Для работы нужно надеть микрометр на тубус микроскопа до упора, развернуть для получения требуемого рабочего положения перекрестия и закрепить винтом.

Для **измерения линейного увеличения объектива** микроскопа с помощью винтового окулярного микрометра в качестве объекта следует применять объект-микрометр (например, ОМО или ОМП), который надо установить на столик микроскопа.

Вращением окуляра за накатанную часть нужно установить его на резкость изображения перекрестия, сфокусировать тубус на резкость изображения шкалы объект-микрометра, а затем приступить к измерению увеличения объектива.

По шкале объект-микрометра следует взять некоторое число делений, укладывающихся в 2/3 поля зрения окуляра. Не рекомендуется при измерении пользоваться всем полем зрения окуляра, так как на краю поля качество изображения несколько хуже, чем в центральной части.

Для удобства измерения биштрих окулярного микрометра подводят к делению «8» миллиметровой шкалы. Шкалу объект-микрометра устанавливают в поле зрения микроскопа так, чтобы первый штрих находился перед центром перекрестия на расстоянии двух-трех делений шкалы объект-микрометра, при этом штрихи шкалы объект-микрометра должны быть параллельны биштриху.

Наблюдая в окуляр, вращением барабана по часовой стрелке совмещают центр перекрестия окуляра с изображением первого штриха шкалы объект-микрометра, снимают отсчет по шкалам окулярного микрометра. Продолжая наблюдать в окуляр, вращением барабана в ту же сторону совмещают центр перекрестия с изображением штриха объект-микрометра, отстоящего от противоположного края поля зрения примерно на то же расстояние, что и первый штрих.

Можно вести измерение и в обратном направлении, т. е. от «0» миллиметровой шкалы окулярного микрометра к делению «8», сохраняя направление вращения барабана в одну и ту же сторону и совмещая центр перекрестия с изображениями штрихов шкалы объект-микрометра при снятии первого и второго отсчетов.

Снимают второй отсчет по шкалам окулярного микрометра. Подсчитав число делений шкалы объект-микрометра, принятых при измерении, находят разность отсчетов (из большего числа вычитают меньшее) по шкалам окулярного микрометра и данные подставляют в формулу

$$\beta = (\Pi - \Gamma) / (z \times a),$$

где β – линейное увеличение объектива;

$\Pi - \Gamma$ – разность двух отсчетов по шкалам окулярного микрометра;

z – число делений объект-микрометра, принятое при измерении;

a – цена деления шкалы объект-микрометра.

ПРИМЕР

Первый отсчет по окулярному микрометру – 6,35 мм, второй отсчет – 2,50 мм; число делений шкалы объект-микрометра, принятое при измерении, – 25, цена деления шкалы объект-микрометра – 0,01 мм. Тогда

$$\beta = (6,35 - 2,50) : (0,01 \cdot 25) = 3,85 : 0,25 = 15,4^{\times}.$$

Следовательно, увеличение объектива $15,4^{\times}$.

Определив увеличение объектива, приступают к **измерению величины объектов**, рассматриваемых в микроскоп. Для этого со столика микроскопа снимают объект-микрометр, а на его место помещают измеряемый объект. Тубус микроскопа следует сфокусировать на резкость изображения объекта. Затем приступают к измерению величины изображения в плоскости перекрестия окулярного микрометра, для чего наблюдают в окуляр и вращают барабан по часовой стрелке, подводят центр перекрестия до совмещения с краем изображения объекта и по шкалам микрометра снимают первый отсчет. Потом подводят перекрестие до совмещения с изображением второго края объекта и снимают второй отсчет по шкалам микрометра. Далее вычисляют разность отсчетов ($\Pi - \text{I}$), которая определяет величину изображения объекта. Чтобы найти величину самого объекта t , полученную разность отсчетов делят на линейное увеличение объектива β , т. е.

$$t = (\Pi - \text{I}) / \beta.$$

ПРИМЕР

Отсчет по шкалам окулярного микрометра при совмещении перекрестия с одним краем изображения объекта – 1,65 мм, с другим краем – 6,34 мм, разность отсчетов – 4,69 мм, увеличение объектива – $15,4^{\times}$. Искомая величина объекта:

$$t = (6,34 - 1,65) : 1,54 = 4,69 : 1,54 = 0,305 \text{ мм}.$$

Иногда вычисление величины объекта удобнее производить следующим образом:

1) определяют, чему соответствует в плоскости объекта перемещение перекрестия при повороте винта на одно деление барабана по формуле

$$\varepsilon = 0,01 / \beta,$$

где ε – цена деления шкалы барабана в плоскости объекта;
0,01 – величина перемещения перекрестия окуляра при повороте винта на одно деление шкалы барабана;
 β – линейное увеличение объектива.

При увеличении объектива $15,4^{\times}$

$$\varepsilon = 0,01 : 15,4 = 0,000649 \approx 0,00065.$$

Величину измеряемого объекта вычисляют по формуле

$$t = \varepsilon (\Pi - I),$$

где $(\Pi - I)$ – разность отсчетов по шкалам микрометра (в абсолютных делениях барабана).

Величина измеряемого объекта по предыдущим данным измерений в нашем случае:

$$t = 0,00065 (634 - 165) = 0,00065 \cdot 469 = 0,305 \text{ мм.}$$

Правила обращения с микрометром заключаются в следующем. Микрометр выпускается тщательно проверенным. Для обеспечения безотказной работы микрометра его содержат в чистоте и предохраняют от повреждений.

Особое внимание надо обращать на чистоту оптических деталей. Пыль с поверхностей линз следует удалять беличьей кисточкой, а жировые налеты и пятна – чистой батистовой салфеткой или ватным тампоном, слегка смоченным спиртом или чистым бензином. Пыль с металлических и лакированных частей микрометра удаляют чистой сухой салфеткой. В нерабочее время микрометр должен храниться в укладочном ящике. Транспортирование микрометра необходимо производить в упаковке.

§ 5. Средства измерения и оценки параметров морфологии поверхности

Анализ современной судебно-следственной и экспертной практики раскрытия и расследования преступлений показывает, что возможности технических средств, доступных экспертно-криминалистическим подразделениям, используются не в полном объеме.

Практически во всех трасологических исследованиях, будь то следы обуви или производственных механизмов, эксперт осуществляет либо плоскостное (двумерное – имеющее два параметра измерения: длину и ширину) изучение поверхности как следовоспринимающего, так и следообразующего объектов, либо объемное (трехмерное – определяемое тремя параметрами: длиной, шириной и глубиной).

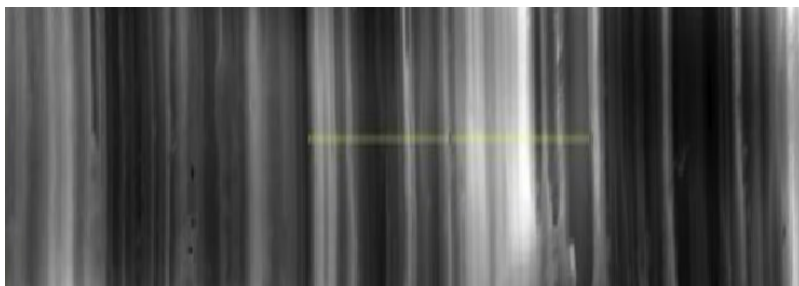
При проведении подобных экспертных исследований изображения внешнего строения поверхности получают при помощи различных **методов морфологического анализа**, позволяющих исследовать внешнее строение объекта, в том числе топографию образующих его структурных элементов на макро- и / или микроуровне.

В процессе экспертного исследования, в частности анализа полученных в ходе измерений значений, могут возникать операционные ошибки, причинами которых являются неправильно подобранное средство измерения, его увеличение, направление освещения (например, при использовании оптического микроскопа), ошибки в применяемой методике, субъективные ошибки, вносимые самим экспертом, и т. д. Также отказ от общепринятой (в том числе в стандартах) терминологии существенно ухудшает качество экспертных исследований, повышает вероятность экспертных ошибок.

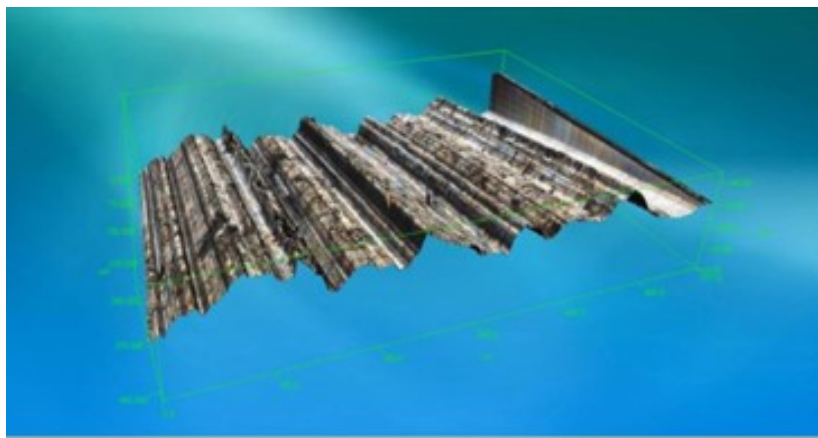
Важно отметить, что любая контактная поверхность как следовоспринимающего, так и следообразующего объектов, будь то рабочая часть отвертки либо объемный след орудия взлома, не является плоской, а обладает определенными морфологическими особенностями (рис. 50).

Таким образом, морфологические особенности (рельеф) поверхности исследуемых объектов в судебной экспертизе – наиболее важная характеристика. Применительно к судебно-экспертной практике данное понятие используется довольно широко как в судебно-баллистической, дактилоскопической, трасологической экспертизе, так и других ее видах.

Несмотря на весь накопленный опыт, вопросы, касающиеся методов анализа изображений, достоверности измерения и критериев количественной оценки морфологии поверхности исследуемых (сопоставляемых) объектов, достаточно сложны и не всегда могут быть использованы в решении задач судебной экспертизы.



а



б

Рис. 50. Увеличенное изображение следа, оставленного контактной частью инструмента (*а*), и результаты реконструкции объемного изображения следа (*б*)

Так, при изучении микрообъектов в судебно-баллистической и трасологической экспертизах можно применить общепринятое в науке и технике понятие **«шероховатость поверхности»** – совокупность неровностей с относительно малыми шагами, образующих рельеф поверхности, который определяется по ее профилю, представляющему собой ломаную линию пересечения поверхности плоскостью, перпендикулярной направлению неровностей.

Однако применяемые для оценки и нормирования поверхности параметры (например, неровность профиля, средний шаг неровностей профиля, отклонения профиля и т. д.), рассчитываемые согласно ГОСТ 2789–73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики» и ГОСТ 27964–88 «Измерение параметров шероховатости. Термины и определения», могут дать только усредненные характеристики поверхности изучаемых объектов, которые никоим образом не позволяют получить эксперту-трасологу необходимое представление об изучаемых объектах. Это, в свою очередь, не дает возможность провести адекватную оценку исследуемых признаков объектов с опорой на вышеописанные характеристики сравниваемых поверхностей объектов.

Необходимо также учесть, что для поверхностей, обладающих свойством обратимой пластической деформации (например, выполненных из резин), а также ворсистых и ряда других объектов измеряемые характеристики делают невозможным контроль геометрических параметров.

Существующие **технические средства** для исследования топографии объектов на макро- и микроуровне можно подразделить на группы:

1) контактные;

2) бесконтактные:

2.1) активные, принцип действия которых основан на использовании:

– ультразвука;

– электромагнитного излучения (рентгеновское; гамма-излучение; видимый УФ-, ИК-диапазон; радиоволны);

– элементарные частицы;

2.2) пассивные.

В основе работы большинства технических средств, имеющих в распоряжении эксперта-криминалиста (например, микроскоп, спектрометр, 3D-сканер и т. п.), лежит «активный» метод, основанный на регистрации излучения, испускаемого ими и отраженного от исследуемого объекта. В рамках «пассивного» метода используется окружающий свет.

Таким образом, **методы морфологического анализа**, широко применяемые для измерения и оценки параметров морфологии поверхности объектов судебно-экспертной деятельности, можно подразделить на две большие группы:

- 1) оптические;
- 2) контактные.

1. Оптические методы предусматривают измерение параметров морфологии поверхности бесконтактными оптическими приборами (микроскопы, микроинтерферометры и др.). Данная группа методов наиболее проста и удобна при исследовании большинства трасологических объектов. Широкое распространение для бесконтактного анализа рельефа поверхности объектов получили оптические приборы, в основу работы которых положены физические явления и методы.

1.1. Методы стереоскопии, голографии, позволяющие получить пространственную модель поверхности объекта, с возможностью ее анализа фотограмметрическими соотношениями. Путем **фотограмметрии** проводятся точные измерения по изображению исследуемого объекта. Метод базируется на способах и приемах, заимствованных из геометрии и оптики. В простейшем случае пространственные координаты объекта исследования эксперт определяет путем экстраполяции данных, полученных с двух и более изображений, зафиксированных из положений камеры. На полученных фотоснимках выделяются идентичные реперные области или точки. Затем графически задаются векторы от выбранных точек объекта до зафиксированных положений камеры. Исходя из вычисленных соотношений определяются пространственные координаты как реперных точек, так и других областей поверхности объекта. В настоящее время имеются и более сложные алгоритмы, базирующиеся на следующих положениях:

- введение системы координат, позволяющее задать или вычислить расположение точек объекта в пространстве;
- привязка к выбранной системе координат изображения объекта;
- определение пространственного положения и направления фиксации изображения объекта;
- привязка точек поверхности объекта к выбранной системе координат.

При фотофиксации внешнее ориентирование включает в себя углы наклона, координаты центра проекции и поворота поверхности объекта, а внутреннее – координаты главной точки и фокусное расстояние объектива (учитывают и искажения, вносимые при съемке).

Используя дополнительные операции (наблюдение, съемка и т. д.), можно увеличить точность измерения, уточнить масштаб и определить систему координат, в которой реализуется расчетный алгоритм.

Среди методов восприятия человеком глубины изображения наибольшее распространение получил **метод стереоскопии**, основанный на том, что объект исследования фиксируется в виде изображения по тем же принципам, что и на сетчатке глаз человека. Для получения стереопары изображения объекта должны быть получены его изображения $P_{\text{л}}$ и $P_{\text{п}}$ при помощи технических средств (фотоаппарат, микроскоп и т. д.) из двух различных точек наблюдения $S_{\text{л}}$ и $S_{\text{п}}$ (рис. 51), расстояние между которыми равно главному базису $b_{\text{г}}$.

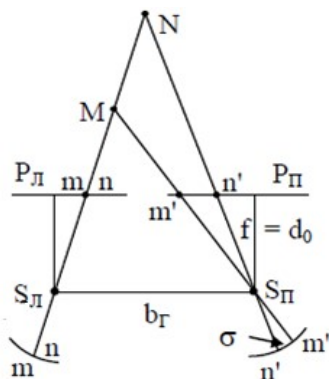


Рис. 51. Схема получения стереоизображения объекта исследования

Для получения стереоизображения зафиксированные в точках $S_{\text{л}}$ и $S_{\text{п}}$ изображения помещаются перед глазами человека в те положения, в которых они находились во время съемки. Таким образом, точки изображения объекта исследования (M, N) проецируются на сетчатку глаз (m, n и m', n') человека. Разные отстояния точек M и N вызывают взаимные смещения ($m'n'$) отображений на снимках. Эти смещения

при рассмотрении снимков преобразуются в физиологические параллаксы σ , на основе которых головной мозг строит объемный образ объекта исследования.

Среди особенностей работы со стереомodelью можно выделить следующие:

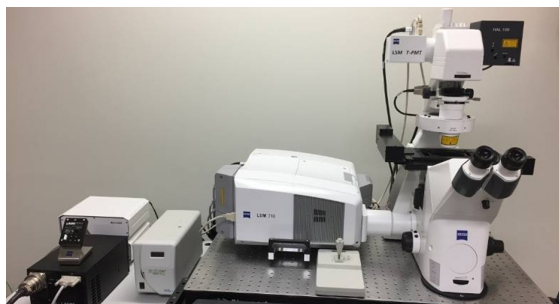
1. Перемещение головы человека в горизонтальной плоскости или в плоскости наблюдения (ближе, дальше) приводит к ее растяжению в сторону наблюдателя.

2. Изменение положения изображения в пространстве (наклон) приводит к ее деформации.

Таким образом, получаемое стереоизображение объекта **не является строгим подобием сфотографированного объекта**, однако из-за того, что на плановых снимках смещения точек, вызванные разными источниками, имеют сравнительно малые величины, наблюдаемая по этим снимкам стереомodelь дает в целом верное представление о рельефе поверхности объекта.

1.2. Методы, позволяющие получить пространственную модель поверхности объекта путем обработки изображений двумерных сечений в заранее заданных плоскостях. Метод **конфокальной микроскопии** является разновидностью оптической микроскопии и обладает рядом преимуществ по сравнению с обычной оптической микроскопией. Название метода «конфокальный» происходит от слова «софокусность». Классический оптический микроскоп регистрирует плоское изображение объемного объекта. В фокальной плоскости объектива конфокального микроскопа находится конфокальная диафрагма (с небольшим отверстием), позволяющая «отрезать» свет, отражаемый от точек поверхности объекта, которые не обнаруживаются в регистрируемом сечении. Таким образом, при определенной глубине резкости получается единичное горизонтальное сечение поверхности объекта.

Небольшая глубина резкости позволяет устранять блики путем компоновки полученных «оптических срезов». Получаемое изображение является двухмерным. Для полноценного трехмерного изображения последовательно сканируют объект по всей его глубине. Поточковые изображения срезов записывают и подвергают постобработке, причем на выходе объект представлен, как правило, в трехмерной системе координат в виде 3D-модели (рис. 52).



а



б

Рис. 52. Конфокальный микроскоп (а), модель поверхности объекта исследования, построенная при помощи конфокальной микроскопии (б)

1.3. Триангуляционный, автоколлимационный, рефлектметрический и интерферометрический методы. Метод интерферометрии – высокоточный метод измерения расстояния. Интерферометры являются инструментами исследования, используемыми в самых различных областях науки и техники. Принцип действия интерферометров основан на том, что для создания интерференционной картины, которую впоследствии можно измерять и анализировать, используют два или более источника света.

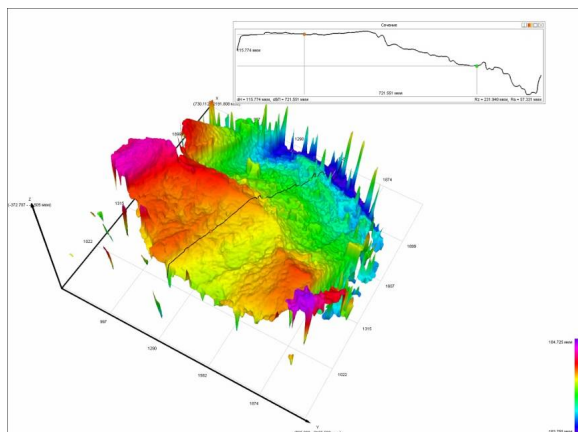
С точки зрения трасологии для исследования следов объектов интерес представляют интерференционные микроскопы.

Остановимся на отдельных положениях методики измерения рельефа поверхности при помощи сканирующего интерферометра частично-когерентного света. При перемещении объекта вдоль оптической оси Z интерферометра происходит сканирование поверхности с регистрацией набора интерферограмм. Для каждой точки измеряемой поверхности находится конечное множество значений функции $I(Z)$, описывающей зависимость интенсивности светового

потока от координаты Z . В результате обработки набора интерферограмм измеренный рельеф в итоге представляется в виде двумерного массива высот $Z(x, y)$. Полученное множество данных используется для описания измерительной информации и 3D-реконструкции профиля поверхности. На рис. 53 представлены интерференционный микроскоп МНП-1 и результаты измерения и 3D-реконструкции поверхности следа перекуса.



a



б

Рис. 53. Интерференционный микроскоп МНП-1 (*a*) и результаты реконструкции поверхности следа перекуса (*б*)

В настоящее время все большее применение в судебно-экспертной деятельности находит объемное лазерное сканирование объектов (3D-сканирование лазером). В качестве источника излучения могут

использоваться лазерные излучатели, работающие в различных длинах волн. Расстояние до объекта измеряют двумя видами методов: времяпролетным и триангуляционным.

Времяпролетный сканер регистрирует время, за которое луч преодолеет расстояние от лазера до объекта и обратно. Исходя из этого значения рассчитывают расстояние до плоскости объекта.

В основе **метода триангуляции** лежит принцип, заключающийся в том, что лазер, камера и позиционируемая точка объекта должны находиться в вершинах. При изменении расстояния от лазера до поверхности объекта точка изменяет положение в поле зрения камеры. Зная расстояние между лазерным излучателем и фотоприемником, а также углы, под которым объект исследования, камера и лазер находятся по отношению друг к другу, можно определить расстояние.

Использование в проекции на объект не точки, а лазерной полосы приводит к ускорению процесса записи образа и его постобработки.

На рис. 54 изображены ручной лазерный сканер 3D (а, б) и результаты измерения и 3D-реконструкции поверхности.

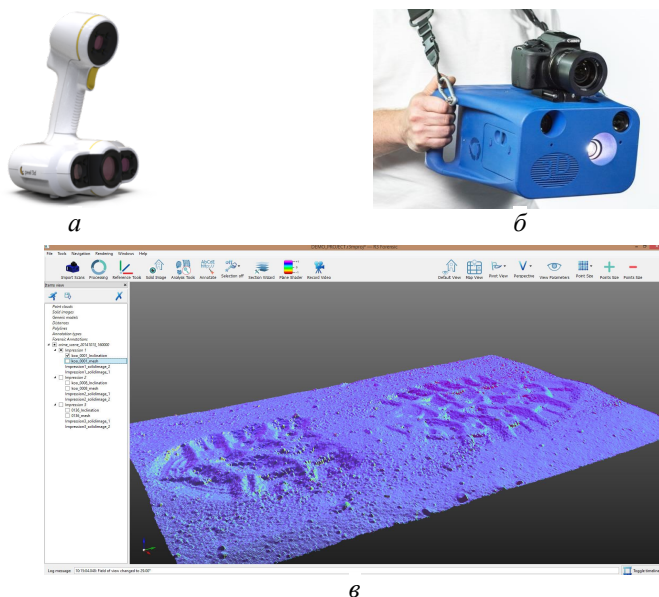


Рис. 54. Ручной лазерный сканер 3D (а, б), изображение поверхности, сформированное при помощи лазерного сканера 3D (в)

2. Механические контактные методы позволяют сформировать объемную модель поверхности объекта исследования, а также осуществлять измерение профиля с помощью **профилометров и профилографов**.

В случае контактного сканирования объект исследуют (зондируют) непосредственно путем физического контакта специального механического приспособления – щупа и исследуемой поверхности объекта.

При помощи методов профилометрии можно получить дополнительную информацию о глубине и выраженности морфологии следов (рис. 55). Для определения профиля поверхности используют контактные или полуконтактные методы. Перед началом сканирования задается система координат в виде сетки, причем размер «ячеек» в областях высокой кривизны поверхности должен быть минимальным, а в местах малой кривизны – наибольшим. Посредством щупа, движущегося по поверхности объекта, производится замер координат его положения через определенные промежутки, которые фиксируются программно компьютером. Таким образом происходит построение трехмерной модели поверхности сканируемого объекта.

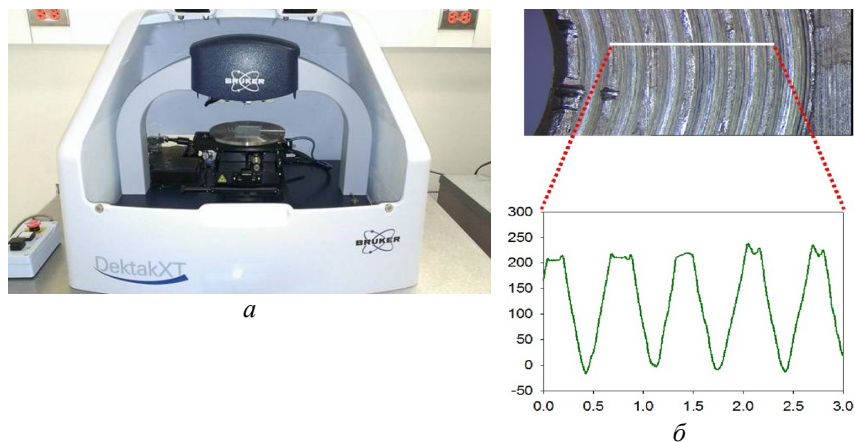


Рис. 55. Профилограф-профилометр (а), изображение профиля поверхности, сформированное при помощи профилографа-профилометра (б)

Среди недостатков контактного метода сканирования выделяют непосредственный контакт объекта и щупа, что в некоторых случаях приводит к изменению поверхности объекта, а также низкую скорость сканирования.

Отдельно рассматривают **специальные физические методы** исследования поверхности, к которым согласно общепринятой классификации относят:

- сканирующую зондовую микроскопию;
- просвечивающую электронную микроскопию;
- растровую электронную микроскопию и т. д.

В настоящее время в судебно-экспертной практике **сканирующая зондовая микроскопия** и **просвечивающая электронная микроскопия** имеют ограниченное применение. Основная область использования – научные исследования.

Растровая электронная микроскопия по сравнению с оптической микроскопией обладает более высоким пространственным разрешением и глубиной резкости. В основу работы растрового электронного микроскопа положен сфокусированный пучок электронов, при помощи которого облучается объект.

Электронная пушка испускает поток электронов, которые ускоряются до энергии 2–40 кэВ. Магнитные линзы и отклоняющие катушки сканирования формируют электронный пучок малого диаметра, разворачиваемый в растр на поверхности образца. При облучении поверхности объекта исследования электронами возбуждаются три типа излучения: рентгеновские лучи, вторичные электроны и отраженные электроны. Приемный детектор измеряет интенсивность энергии квантов, испускаемых образцом, и преобразует ее в электрический сигнал.

Использование детектора, который позволяет регистрировать рентгеновское излучение, дает возможность осуществить элементный анализ исследуемого объекта.

Разрешение электронного микроскопа зависит от поперечного размера электронного пучка, который фокусируется электронно-оптической системой микроскопа, а также размера области взаимодействия электронного зонда с образцом. Современные растровые электронные микроскопы достигают разрешающей способности до единиц нанометров.

Сканирующие микроскопы находят применение в области судебной экспертизы и криминалистики в основном как исследовательский

инструмент, однако по ряду направлений имеются прошедшие апробацию методики, в частности исследование следов продуктов выстрела, микроанализ, элементный анализ, построение морфологии поверхности образцов. Использование различных видов детекторов электронов позволяет разделять области на поверхности объекта, содержащие тяжелые и легкие элементы. На рис. 56 представлены растровый электронный микроскоп и изображение поверхности перекуса, сформированное при помощи электронного микроскопа.



Рис. 56. Растровый электронный микроскоп HITACHI S-3400N (а), изображение рельефной поверхности, сформированное при помощи электронного микроскопа (б)

Для оценки поверхностей объектов больших габаритов, в том числе в труднодоступных местах, когда непосредственное изучение с применением технических средств, описанных выше, невозможно, используют метод слепков.

Оттискную массу каким-либо способом наносят на исследуемую поверхность. По завершении процесса застывания получившийся слепок отделяют механически от следовоспринимающей поверхности, причем на его поверхности зеркально повторяются неровности исследуемой поверхности. Измерение осуществляют вышеописанными методами (контактными и бесконтактными). В качестве материала для слепка применяют легкоплавкие сплавы, воск, парафин, разнообразные полимерные слепочные композиции, кото-

рые позволяют получать высокоточные твердые трехмерные копии и др. На рис. 57 приведено изображение оттисковой массы Mikrosil и слепка, полученного со следа пальца руки.



а



б

*Рис. 57. Оттисковая масса Mikrosil (а),
изображение слепка, полученного со следа пальца руки (б)*

К основным преимуществам современных слепочных материалов относят:

- способность длительный период сохранять геометрические параметры исследуемого объекта;
- возможность проведения экспертных исследований микро-рельефа объектов криминалистической экспертизы.

Таким образом, возможности современного приборостроения позволяют осуществлять измерения и построение как 2D-, 3D-моделей практически любых как по размеру макро-, микрообъектов трасологических экспертиз и исследований, так и характеру поверхности

(грубые, гладкие, а также сверхгладкие поверхности). Программное обеспечение технических средств позволяет выполнять разнообразные операции с получаемыми моделями: сшивать профили поверхностей, осуществлять визуализацию трехмерных моделей, проводить разнообразные измерения изучаемой поверхности с произвольной точки поверхности и т. д.

Описанные выше методы, реализованные в технических средствах и программно-технических комплексах, могут использоваться для решения широкого круга задач, при этом позволяют:

- качественно улучшить процесс сравнительного исследования и его визуализации в традиционных криминалистических экспертизах;
- осуществлять измерение рельефа поверхности.

ГЛАВА 3

ОСНОВЫ ДОСТИЖЕНИЯ ХОРОШЕГО РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЙ

Основы метрологии и оценка неопределенности могут показаться пугающими вещами и безнадежно сложными, особенно если методика измерения состоит из большого набора операций и преобразований (по сути, компонентов, вносящих вклад в оценку неопределенности), неизвестными математическими преобразованиями и вычислениями. Тем не менее базовые навыки и знания для понимания концепции неопределенности измерений просты. Ее можно уточнить с математической точки зрения, которая начинается с закона распространения неопределенности и использует исчисление для выведения результирующих уравнений. Второй путь – концептуальный подход. Именно он и выбран в данном пособии.

Количество измеряемых величин огромно, а количество измерительных приборов намного больше. Например, длину (или расстояние) можно измерить рулеткой, гидролокатором или лазерным дальномером. Количество способов неправильного использования и истолкования полученных результатов на этих устройствах также велико. В данном разделе рассмотрены ключевые концепции измерения, принципы и подходы к процессу, которых придерживаются, чтобы свести все факторы к минимуму.

1. Измерение производится по причине, и эта причина должна быть четко определена и понятна эксперту, особенно важно, когда измерение осуществляют для кого-то другого. Когда разрабатывается система, которая включает в себя регулярно повторяющиеся измерения (например, система для измерения количества пороха на поверхности тканей от огнестрельных повреждений с целью определения дистанции выстрела), нужно знать, где лежат фундаментальные и прикладные проблемы и как можно внести улучшения в процедуру.

2. Используемые измерительные приборы должны отвечать поставленной задаче, быть в исправном состоянии и откалиброваны, их необходимо эксплуатировать в соответствии с инструкциями производителя.

3. Тому, кто проводит измерения, требуется изучить инструкции, ознакомиться с методикой и пройти обучение. Там, где задействована группа экспертов, их индивидуальные роли и обязанности должны быть официально согласованы, четко поняты и распределены.

4. Характеристики измерительных приборов изменяются с течением времени вследствие эксплуатации, износа и повреждения, поэтому их поверяют. Поверка проводится через регулярные промежутки времени, а не в момент, когда она необходима. Такие проверки должны включать в себя как внутреннюю оценку состояния прибора, так и менее часто проводимую внешнюю оценку.

5. Результат измерения не очень полезен, если он действителен только в том месте, где оно производится. Высокоточные измерения часто зависят от всевозможных местных факторов, которые необходимо принимать во внимание. Так, сила тяжести изменяется от места к месту на поверхности Земли до 1 %, а также зависит от времени (в частности, смещающихся гравитационных воздействий Солнца и Луны). В свою очередь, это влияет на вес объектов (измеряемый по весам). Таким образом, оценка подобных факторов должна быть сделана при планировании важного измерения.

Что произойдет дальше, зависит от результатов оценки. Иногда факторы оказываются слишком малы, чтобы существенно повлиять на неопределенность результатов, но пользователь может их исправить с учетом соответствующих данных и инструкций либо укажет результат с большей неопределенностью. В дополнение к этому для важных и сложных измерений, при разработке и апробации методик операторы других лабораторий должны проводить такие же измерения и сравнивать свои результаты между собой. В зависимости от того, насколько разными окажутся результаты, может снова возникнуть необходимость внести исправления.

Как же выяснить, действительно ли правильны действия людей, процедуры, оборудование и другие факторы? Процесс такой проверки называется **валидацией** и является ключевой концепцией. Она принимает много форм, но фундаментальный подход заключается в том, чтобы полагаться на мнение экспертов о соответствии всех вышеуказанных факторов поставленным целям. Валидация (от лат. *validus* «здоровый, крепкий; сильный») в технике или в сис-

теме менеджмента качества означает доказательство того, что требования конкретного пользователя, продукта, услуги или системы отвечают поставленным целям.

Другой ключевой концепцией измерения является **калибровка**, которая представляет собой сравнение инструмента или артефакта с более точным инструментом (эталонным сигналом или эталонным условием), чтобы определить, соответствует ли он спецификации производителя. В результате этого сравнения создается сертификат, который сообщает о показаниях прибора и сравнивает их с эталонным значением или значениями.

Если результаты соответствуют эталонным значениям (т. е. любые различия между ними находятся в допустимых пределах), то дальнейших действий не требуется. Если результаты существенно отличаются, тестируемый измерительный прибор в некоторых случаях может быть отрегулирован до тех пор, пока результаты не будут согласованы, и эта корректировка затем заносится в сертификат. В некоторых случаях калибровочные поправки применяются к результатам, а не к инструменту.

Как правило, измерительные приборы сначала калибруются производителем. Иногда они периодически возвращаются этому производителю для повторной калибровки, могут быть откалиброваны самим владельцем либо калибровочной лабораторией.

Необходимо помнить, что любой сертификат калибровки сообщает о поведении измерительного устройства только в то время, когда калибровка была выполнена, но обычно предполагается, что устройство останется «в калибровке», т. е. будет функционировать в соответствии с его спецификацией, в течение некоторого определенного периода, такого как год.

С юридической точки зрения важно, чтобы сертификат калибровки все еще действовал. Такой период предполагает, что измерительное устройство содержалось в соответствующих для него условиях и не подвергалось неправильному обращению.

Если устройство уронили, использовали не по его назначению или оно начинает странно себя вести, придется повторно проводить калибровку.

Еще одной ключевой концепцией является **прослеживаемость**, значение которой простыми словами можно определить как способность проследить измерение, оборудование или предмет обратно к первоисточнику.

В соответствии с формальной дефиницией, взятой из Международного словаря по метрологии (VIM) и принятой Национальным институтом стандартов и технологий (NIST), прослеживаемость – это «свойство результата измерения, при котором результат может быть связан со ссылкой через документированную непрерывную цепочку калибровок, каждая из которых вносит вклад в неопределенность измерений»¹.

Прослеживаемость также рассматривают как непрерывную запись документации («прослеживаемость документации») или непрерывную цепочку измерений и связанных с ней неопределенностей («метрологическая прослеживаемость»). Измерения, такие как длина, вес, время и температура и т. д., могут быть отслежены. Калибровку и проверку аналитических весов осуществляют в соответствии с весами, сертифицированными как прослеживаемые по отношению к тем, которые поддерживаются NIST и за пределами глобального стандарта. Динамометры также могут быть отслежены, как и штангенциркули, криминалистические линейки и часы.

Важно понимать, что прослеживаемость не имеет прямой связи с неопределенностью, представляющей собой диапазон, в котором по нашим ожиданиям будет лежать значение. Прослеживаемость гарантирует, что измерения веса, длины, диаметра и т. д., которые мы проводим, настолько близки к истинному значению, насколько это возможно, поскольку мы принимаем стандарты, сохраняемые NIST, как истинные значения «общепринятого, как истина». Прослеживаемость главным образом связана с точностью, а не с изменчивостью и неопределенностью. Мы стремимся к прослеживаемости, чтобы гарантировать, что наша оценка истинного значения является разумной, оправданной и пригодной для использования. Неопределенность соответствует диапазону нашего измерения.

¹ Метрологическая прослеживаемость стандартных образцов КООМЕТ. Часть 1. Международная практика по установлению прослеживаемости сертифицированных значений стандартных образцов / С. В. Медведевских, Е. П. Собина, О. Н. Кремлева [и др.] // Измерительная техника. 2021. № 8. С. 26.

Покупка самых дорогих прослеживаемых инструментов сама по себе не «улучшит» оценку неопределенности процесса, в котором используется это оборудование. В большинстве судебных измерений не отслеживаемый инструмент вносит наибольший вклад в неопределенность, а процедура, в которой его применяют. Прослеживаемость – гарант того, что при правильной эксплуатации оборудования измерения будут точными в соответствии с допуском – максимально допустимой разницей между фактическим значением некоторого количества и значением, указанным для него, предоставленным поставщиком.

Когда проводится количественное измерение, его «качество» можно описать с точки зрения полезности и надежности. Любое измерение, которое мы проводим, дает оценку истинного значения, а любое количественное измерение имеет связанную неопределенность. В таком контексте неопределенность не означает отсутствие уверенности, ошибки или сомнения. Неопределенность – это диапазон, который представляет разброс, или дисперсию, которые мы ожидаем от нашего измерения.

Прослеживаемость является ключевым компонентом многих судебных измерений и играет роль в оценке неопределенности, но прослеживаемость главным образом связана с точностью, а не с разбросом. Разброс возникает в результате процесса измерения, взятого в целом, а не только из-за используемого инструмента или устройства. На самом деле во многих случаях неопределенность, которая возникает от инструмента или устройства, часто тривиальна по сравнению с неопределенностью, которая возникает из-за того, как мы их эксплуатируем.

§ 1. Факторы, влияющие на результаты измерений

Если не следовать руководящим принципам, вряд ли можно рассчитывать на правильное измерение, но даже если их выполнять, есть ряд факторов, которые контролировать либо нельзя вообще, либо допускается только в ограниченной степени, и это будет влиять на результат.

Несмотря на возможность подтверждения посредством калибровки и предварительных проверок того, что измерительные приборы ведут

себя должным образом до начала измерения, ряд внешних факторов может ухудшить их характеристики во время самого измерения. Так, электрические измерительные приборы способны подвергаться воздействию электрических помех либо в форме электромагнитного излучения, либо в результате нарушения электроснабжения. Правильное заземление оборудования также важно: когда в одном измерении участвуют сразу несколько высокоточных электрических приборов, может потребоваться проверка их заземления во избежание влияния электрических помех и электромагнитного излучения на результат.

Когда нужно определить крошечные величины, сам прибор оказывает существенное влияние на измерения. Но с такой проблемой сталкиваются и при измерениях большего масштаба. Так, акустические измерения часто требуются в средах, в которых нет отражений звука от объектов. В то время как камеры могут быть снабжены специальными настенными покрытиями для рассеивания и поглощения звуковых волн, сам детектор иногда становится источником шумовых акустических отражений.

Измеряемый объект. Вряд ли что-то измеренное является действительно стабильным: многие люди «сжимаются» более чем на сантиметр в течение дня, потожировое вещество медленно высыхает, а его химический состав под воздействием внешней среды становится другим, исчезают и сдвигаются цвета, электрическое сопротивление изменяется под действием температуры и т. д. Следовательно, учет значимости таких изменений важен при планировании измерений. В некоторых случаях они достаточно незначительны, чтобы их игнорировать, в других – исправлены или усреднены путем контроля условий окружающей среды. Измерения, которые отслеживают такие изменения во времени (а не просто усредняют их), называются динамическими.

Отбор проб и другие аспекты процесса измерения. Технику измерения необходимо хорошо продумать, а люди, которые ее используют, должны быть обучены методике. Это особенно важно в тех случаях, когда мы хотим получить максимальную отдачу от измерения, а объект варьирует свои параметры в пространстве и времени. Шум, который издают соседи в 12 часов ночи, скорость ветра и температура воды могут быть определены очень точно, но ответ не будет иметь значения, если измерения не проводятся в достаточном количестве, соответствующих месте и времени, т. е. полученные результаты

должны быть репрезентативны (обладают всеми свойствами исходного и значимы с точки зрения задач исследования). Другая проблема с объектами криминалистической экспертизы заключается в том, что до их измерения делают некоторые пробы, приводящие к изменениям. Биологические объекты, в частности кровь, претерпевают множество изменений после их удаления из организма. Таким образом, характеристики образцов крови необязательно совпадают с исходными характеристиками крови. В подобных случаях требуется сочетание подходящего хранилища, оперативного измерения и знания ожидаемых изменений.

Существуют аспекты процесса измерения, которые нельзя полностью контролировать или планировать, какие бы люди, оборудование и процедуры ни использовались. В этих случаях важно уточнить, каковы ограничения результатов измерений.

Навык оператора. Измерения включают в себя человеческие навыки, а у них есть пределы, независимо от того, насколько хорошо обучен, старателен или мотивирован оператор. Настройка оборудования и подготовка измеряемого объекта нередко оказываются еще более сложной задачей, чем проведение самого измерения. Важным моментом здесь также является то, что эти пределы сильно различаются между людьми, поэтому измерение, которое может быть выполнено одним человеком с некоторой степенью неопределенности, недостижимо для другого («проблема личности»).

В 1796 г. Невил Маскелайн (королевский британский астроном) и его помощник Дэвид Киннебрук измеряли время, когда звезды пересекали линию в поле телескопа. Маскелайн заметил, что время Киннебрука всегда примерно на 0,8 секунды отставало от его собственного, он уволил его за медленное время реакции. Вот запись, сделанная Маскелайном: «Я считаю необходимым отметить, что мой ассистент м-р Киннебрук... начиная с августа прошлого года записывал их (транзиты) на полсекунды позже, чем ему следовало бы соответственно моим наблюдениям; в январе следующего, 1796 г., его ошибки возросли до 8/10 секунды. Поскольку он, к несчастью, совершал эту ошибку в течение длительного времени, прежде чем я это заметил, и не собирался, как мне показалось, перестраиваться, я, хотя и не без сожаления... расстался с ним»¹. Много лет спустя

¹ Полани М. Личностное знание. М.: Рипол Классик, 1985. С. 42.

Фридрих Бессел использовал данные двух астрономов для разработки идеи «личного уравнения», которое описывает неизбежное смещение, связанное с измерениями конкретного человека¹.

Факторы окружающей среды. Окружающая среда, особенно ее температура, давление воздуха и влажность, могут влиять на результаты измерений самых разных типов, изменяя характеристики измерительного прибора, измеряемого объекта или и того, и другого. В некоторых случаях, когда, в частности, необходимо очень точно определить массу, измерение проводят в камерах, в которых контролируются все параметры, при точной температуре, а иногда в вакууме (при нулевом давлении воздуха и влажности, если это требуется). Тем не менее подобные измерения являются дорогостоящими с точки зрения как используемых средств, так и времени, затраченного на измерение. Кроме того, многие измеряемые объекты, включая жидкости и живых существ, не совсем подходят для измерений в вакууме.

Давление воздуха особенно сложно контролировать, но оно может существенно повлиять на широкий спектр вещей, включая вес объектов, скорость света и звука. Поэтому к полученным результатам измерения часто применяются поправки, основанные на записанном при его выполнении давлении воздуха. Эти поправки могут быть определены с помощью расчетов, основанных на знании физики, или экспериментов.

§ 2. Точность и изменчивость

Есть два основных критерия, которые используются для оценки измерения. Во-первых, это **точность** (насколько близки мы к истинному измерению), а во-вторых, **изменчивость** (насколько изменится значение, если оно будет выполнено снова в тех же условиях).

Точность соотносится с прослеживаемостью, а изменчивость – с неопределенностью. Оба критерия связаны с измерением, но они не являются взаимозависимыми. Можно провести точное измерение с высокой изменчивостью или неточное измерение с низкой изменчивостью. К сожалению, во многих измерениях изменчивость в лучшем случае является запоздалой мыслью или, что еще хуже, предполагается равной нулю или игнорируется полностью.

¹ Полани М. Личностное знание ... С. 43.

Диапазон, в котором ожидаются количественные результаты тра-
сологической экспертизы, невелик. Предположим, что мы измеряем
колею и базу автомобиля на грунте, чтобы определить по справочнику
тип и вид транспортного средства, участвовавшего в ограблении. Су-
ществует истинная ценность, но мы не можем знать, что это. Все, что
мы можем сделать, – получить результат, который, как мы уверены,
максимально приближен к истинному значению, наряду с ожидае-
мым разбросом такого расстояния, и сравнить со справочными мате-
риалами. Тут и приходится гадать над неопределенностью.

Классическая целевая аналогия полезна для усиления наших
идей. Рис. 58, *а* – шкала, по которой мы будем проводить измерения.
Центр представляет собой истинное значение величины, которую
мы измеряем. Если мы берем прибор, он дает результат из середины,
это означает измерение, при котором измеренное значение совпадает
с истинным. В таком случае измерение будет максимально точ-
ным, а измеренное значение – совпадать с истинным значением.

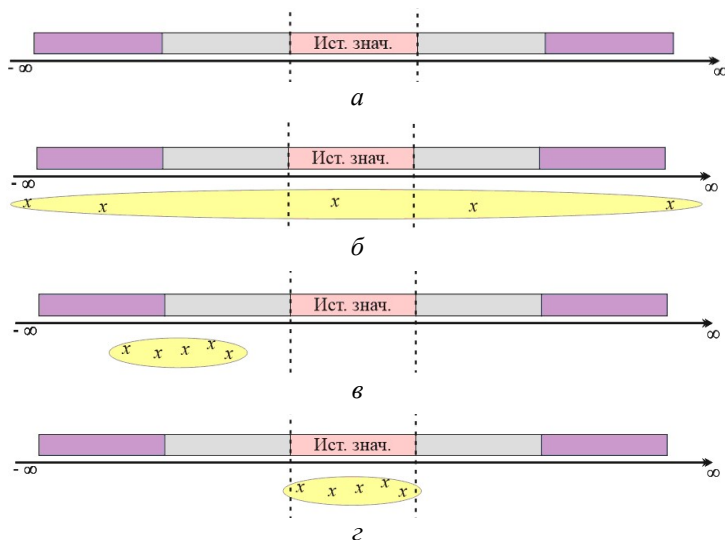


Рис. 58. Шкала, в центре которой находится истинное значение
измеряемой величины (*а*); шкала и разброс измерений (*б*);
улучшенная процедура измерения (дает меньшую изменчивость
или более узкий разброс, но точность все еще неприемлема) (*в*);
точность и изменчивость приемлемы и находятся
в соответствующем диапазоне (*г*)

В идеале все измерения, проводимые в одинаковых условиях, должны попадать в центр, но этого не происходит. Всегда есть разброс, маленький для опытного эксперта и большой для новичка. Это изменчивость, или дисперсия, измерения. Мы стремимся к центру, но наши показания прибора находятся в диапазоне, окружающем данный центр.

Для любого судебного измерения нам нужно иметь количественные описания точности (насколько близко к центру) и изменчивости (насколько разбросаны измерения). Хорошее измерение характеризуется известной и приемлемой точностью и изменчивостью. Предположим, мы рассматриваем возможность участия в экспертизе второго человека и хотели бы сказать, что половина его измерений (или, возможно, 90 %) будет находиться в пределах истинного значения. Это можно выразить с точки зрения уровня доверия, мы хотим на 90 % быть уверены, что, если эксперт сделает измерение, он измерит истинное значение. В девяти случаях из десяти это будет, а один раз из десяти – не будет. Вы никогда не найдете кого-то, кто может гарантировать 100 %, поэтому необходимо решить, какой процент является разумным, оправданным и пригодным для этой цели.

Посмотрим на рис. 58, б. Предположим, наш начинающий эксперт первым измерением попал центр, а затем четыре раза за его пределы. Разброс данных ясно показывает, что первое измерение было случайностью и ни точность, ни изменчивость неприемлемы. Тот, кто имеет опыт (второй эксперт), может помочь освоить технику измерения, и через некоторое время наш новичок делает успехи (см. рис. 58, в). Изменчивость была значительно уменьшена, и измерения в общем последовательны. Однако точность неприемлема, так как диапазон попаданий не перекрывает центр. Опытный эксперт замечает, что первый смотрит на шкалу под углом и закрывает не тот глаз, когда делает измерение, в результате чего каждое измерение, сделанное новичком, смещается влево. Когда это исправлено, наш новичок приближается к центру, теперь точность и изменчивость приемлемы (см. рис. 58, г).

При выполнении тщательных измерений наша цель состоит в том, чтобы уменьшить как можно больше источников ошибок и отслеживать те ошибки, которые не получится устранить. Полезно знать типы ошибок, которые могут возникать, чтобы мы распо-

знавали их при возникновении. Но любая ошибка, значение которой мы не знаем, является источником неопределенности.

Неопределенность – количественное выражение сомнения относительно результата измерения.

Анализ ошибок – изучение неопределенностей в физических измерениях. Важно не путать термины «ошибка» и «неопределенность».

Экспериментальная ошибка – разница между измерением и истинным значением или между двумя измеренными значениями. Экспериментальная ошибка сама по себе измеряется ее точностью и изменчивостью измерения.

Точность показывает, насколько близко измеренное значение к истинному или принятому значению. Поскольку истинное или принятое значение для физической величины может быть неизвестно, иногда невозможно определить точность измерения.

Изменчивость демонстрирует, насколько тесно два или более измерений согласуются с другими. Ее еще иногда называют «повторяемость результатов» или «воспроизводимость результатов». Это мера того, насколько хорошо можно определить результат (без ссылки на теоретическое или истинное значение). Она характеризуется степенью согласованности между независимыми измерениями одного и того же количества, а также надежностью результата. Измерению, которое воспроизводимо, свойственна тенденция давать очень близкие друг другу значения.

Когда ученые ссылаются на экспериментальные ошибки, они не имеют в виду то, что обычно называют **грубыми ошибками**, или **просчетами**. Иногда их также называют «нелегитимными», «человеческими», или «личными», ошибками. Как правило, личные ошибки исключаются из обсуждения анализа ошибок, поскольку предполагается, что экспериментальный результат был получен в результате правильных процедур. Термина «человеческая ошибка» следует избегать при обсуждении анализа ошибок, потому что он слишком общий. Эти типы ошибок могут возникать из-за измерения ширины, когда должна была быть определена длина, или из-за измерения напряжения на неправильной части электрической цепи, или из-за неправильного чтения шкалы прибора, когда забыли разделить диаметр на 2, прежде чем вычислять площадь круга по формуле $A = \pi r^2/2$. Такие ошибки, безусловно, значительны, но

их можно устранить, если снова провести эксперимент правильно в следующий раз.

Процессу измерения присущи ошибки, которые не могут быть устранены простым повторением эксперимента, независимо от того, насколько тщательно мы его провели. Существует два типа экспериментальных ошибок: систематические и случайные.

Систематические ошибки – ошибки, которые влияют на точность измерения. Это «односторонние» ошибки, потому что при отсутствии других типов ошибок повторные измерения дают результаты, которые отличаются от истинного или принятого значения на ту же величину. Точность измерений, подверженных систематическим ошибкам, не может быть улучшена путем повторения этих измерений. Систематические ошибки не могут быть легко проанализированы статистическим анализом. Их трудно обнаружить, но, однажды обнаруженные, они могут быть уменьшены только путем уточнения метода или процедуры измерения.

Распространенными источниками систематических ошибок являются неправильная калибровка измерительных приборов, плохо обслуживаемые инструменты или неправильное считывание показаний пользователем. Часто встречающаяся форма этого последнего источника систематической ошибки называется ошибкой параллакса, которая возникает в результате чтения инструмента под углом, что приводит к постоянно высокому или низкому показанию.

Случайные ошибки – это ошибки, которые влияют на изменчивость измерения. Они являются «двусторонними», потому что при отсутствии других типов ошибок повторные измерения дают результаты, которые колеблются выше и ниже истинного или принятого значения. Измерения, подверженные случайным ошибкам, отличаются друг от друга из-за случайных, непредсказуемых изменений в процессе измерения. Точность измерений, подверженных случайным ошибкам, может быть улучшена путем повторения этих измерений. Случайные ошибки легко анализируются статистическим анализом. Их нетрудно обнаружить и уменьшить путем повторного измерения или уточнения его методики или процедуры.

Распространенными источниками случайных ошибок являются проблемы с оценкой величины, которая лежит между градациями (линиями) на приборе или невозможностью их чтения, потому что показания колеблются во время измерения.

Когда эксперт сообщает о результатах эксперимента, его отчет должен описывать точность и разброс экспериментальных измерений. Некоторые распространенные способы описания точности и изменчивости описаны ниже.

Точность **прямых измерений** некоторой величины x оценивается величиной погрешности или ошибки измерений относительно действительного значения физической величины (x_d). X_d – это значение физической величины, полученное экспериментальным путем, максимально близкое к истинному значению.

ПРИМЕР

Об измерении длины при помощи микрометра с градуировкой 1 мм будет сообщено с точностью $\pm 0,1$, или измерение объема с использованием градуированного цилиндра с градуировкой по 1 мл будет сообщено с точностью $\pm 0,1$ мл.

К цифровым инструментам относятся по-разному. Если производитель инструмента не указывает точность, то измерения, выполненные прибором, сообщаются с точностью $\pm 1/2$ наименьшей единицы измерения инструмента.

Качество результатов измерения удобно сообщать **не абсолютной величиной ошибки** (Δx) как разницу между измеренным и истинным или экспериментальным и принятым значением ($x - x_d$), а их отношением к измеряемой величине, которое называется **относительной ошибкой измерения** (δ), выраженной в процентах. Рассчитывается из следующего уравнения:

$$\sigma = \Delta x / x_d \cdot 100 \% = (x - x_d) / x_d \cdot 100 \% .$$

Разницу в точность двух измерений можно оценить по разнице между измеренными или экспериментальными значениями x_1 и x_2 , выраженными в виде доли от среднего значения двух. Рассчитывается из следующего уравнения:

$$\text{Difference} = \frac{|x_1 - x_2|}{(x_1 + x_2) : 2} \cdot 100 \% .$$

Когда измерение повторяется многократно, мы видим, что значения группируются вокруг центрального. Эту группировку или распределение можно описать двумя числами: средним значением

и стандартным отклонением, которое описывает разброс (отклонение) относительно среднего значения.

Для набора из N измеренных значений для некоторой величины x среднее значение величины $\langle x \rangle$ рассчитывается по следующей формуле:

$$\langle x \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = \frac{1}{N} (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_{N-1} + x_{1N}),$$

где x_i – i -е измеренное значение x . Среднее значение – это просто сумма измеренных значений, деленная на количество измеренных значений.

Стандартное отклонение измеренных значений представлено символом σ_x и определяется формулой

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{i=N} (x_i - \langle x \rangle)^2}.$$

Стандартное отклонение иногда называют «среднеквадратичным отклонением». Оно показывает, насколько широко разбросанные измеренные значения находятся по обе стороны от среднего значения.

Смысл стандартного отклонения можно понять, изучив рис. 59. Как видно из рисунка, чем больше стандартное отклонение, тем шире распространяются данные от среднего значения. Форма кривой нормального распределения определяется средним значением и стандартным отклонением. Чем круче кривая, тем меньше стандартное отклонение, и, наоборот, если значения разбросаны далеко друг от друга, кривая на графике будет более плоской (это означает, что стандартное отклонение велико).

Для измерений, которые имеют только случайные ошибки, стандартное отклонение означает, что 68 % результатов находится в пределах σ_x от среднего значения, 95 % – в пределах $2\sigma_x$ от среднего значения, а 99 % – в пределах $3\sigma_x$ от среднего значения (рис. 60).

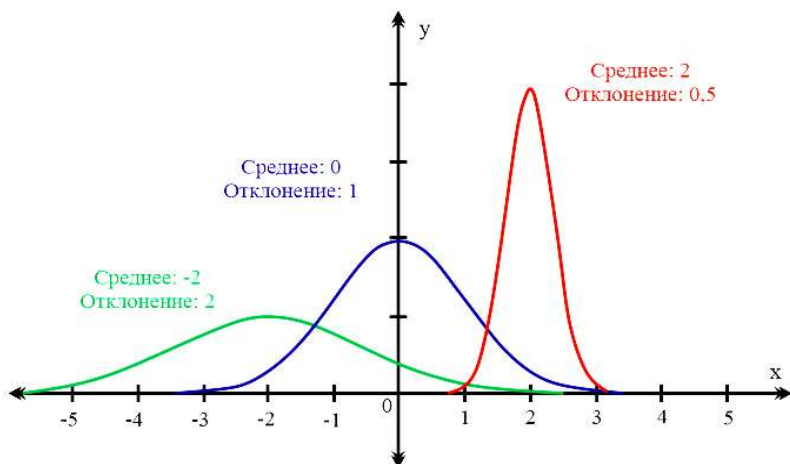


Рис. 59. Формы кривых закона нормального распределения

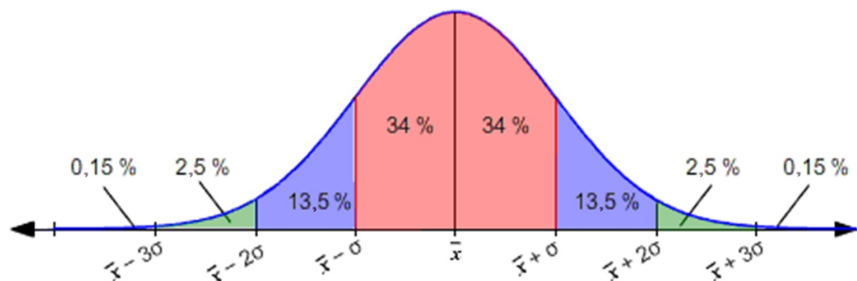


Рис. 60. Свойство кривой нормального распределения

Существует множество функций распределения, известных математикам, и многие из них встречаются в природе, т. е. они описывают определенные процессы в природе. В науке об измерениях наиболее важной функцией распределения является нормальное распределение (также известное как распределение Гаусса).

Его важность проистекает из так называемой **центральной предельной теоремы**, которая может быть сформулирована для измерений следующим образом: *если на результат измерения одновременно влияют многие источники неопределенности, то при приближении к бесконечности числа источников неопределенности функция распределения результата измерения приближается к нормальному распределению, независимо от того, что является*

функциями распределения факторов, описывающих источники неопределенности.

Это объясняет, почему во многих случаях измеренные величины имеют нормальное распределение и почему математическая сторона науки измерений и оценки неопределенности измерений основана в большей степени на нормальном распределении.

Нормальное распределение и стандартное отклонение являются основой для расчета стандартной неопределенности.

Стандартная неопределенность, обозначаемая u , представляет собой неопределенность, выраженную на уровне стандартного отклонения, т. е. неопределенность с вероятностью охвата примерно 68,3 % (или вероятность того, что истинное значение попадает в диапазон неопределенности, составляет приблизительно 68,3 %). Такая вероятность часто слишком мала для практического применения. Поэтому неопределенность результатов измерений в большинстве случаев указывается не как стандартная неопределенность, а как расширенная неопределенность.

Расширенная неопределенность, обозначаемая U , получается умножением стандартной неопределенности на коэффициент покрытия, обозначаемый как k , который является положительным числом, большим 1. Если коэффициент покрытия равен, например, 2 (что чаще всего используется в расчетах), то в случае нормально распределенного результата измерения вероятность покрытия составляет приблизительно 95,5 %. Эти вероятности можно рассматривать как доли площадей соответствующих сегментов от общей площади под кривой, показанной на рис. 60. Поскольку значение функции кривых нормального распределения выше нуля при любом значении по оси Y , это причина, по которой неопределенность с охватом в 100 % никогда невозможна.

§ 3. Источники неопределенности

Если необходимо оценить разброс значений нашего измерения, нужно быть в состоянии установить потенциальные источники неопределенности.

Источники неопределенности – эффекты, которые вызывают отклонение измеренного значения от истинного. Начнем с простых

с криминалистической точки зрения примеров и продемонстрируем, как в большинстве случаев человеком и инструментами вносится вклад в вариации измерения.

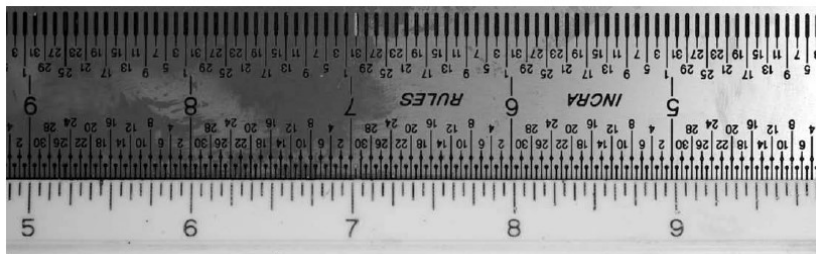
На первом уровне можно разделить источники вариаций на две категории: инструменты и процесс. Элементы неопределенности возникают из процедуры, проводимой лицом, которое выполняет измерение. Так, если нужно знать вес монеты, мы будем использовать весы. Тем не менее весы – это не единственное, что способствует изменению данных. Точно так же, если нужно измерить диаметр, можно использовать линейку или штангенциркуль. Как мы обсуждали в предыдущих параграфах, сертификат связывает наши измерения с принятым международным стандартом и говорит о точности. В сертификате указан допуск, который также приводит к изменению и при этом в наименьшей степени сказывается на общем результате. Пять разных людей, выполняющих эту процедуру, могут получить пять разных значений диаметра монеты. Вариация возникает из-за того, как и какую используют линейку, что в оценке неопределенности носит доминирующий характер.

На рис. 61 заметно смещение цены деления линейки. Рис. 62–64 демонстрируют определение диаметра, где измеряемой величиной является длина, и веса монеты, где измеряемой величиной выступает вес.

Метод измерения с помощью штангенциркуля, который обычно используют для установления линейных размеров заготовок, в том числе цилиндрических, более разумен и оправдан для наших целей. Однако цифровой инструмент еще не гарантирует более точный результат.

На рис. 63, *а* мы увидим, что показания не были обнулены в начале работы со штангенциркулем и оператор не переключил его на необходимую единицу измерения (мм), таким образом, регистрировали диаметр в дюймах, который был заведомо больше, а на рис. 63, *б* губки слегка открыты. Если бы пользователь теперь обнулil отображение, каждое измерение было бы обнулено на указанную величину 0,028 дюйма. Все это влияет на точность, но не на изменчивость и считается систематической ошибкой, так как до исправления смещения каждый измеренный диаметр будет превышать его на ту же величину. Как и в случае с линейкой, здесь не вина штангенциркуля,

а, скорее, процедуры, в которой не объяснили, что штангенциркуль необходимо обнулить перед использованием. Необученный человек не задумается над тем, что применял американскую и английскую непризнанную метрическую единицу измерения расстояния и длины – дюйм (inch).

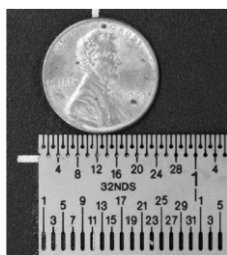


а

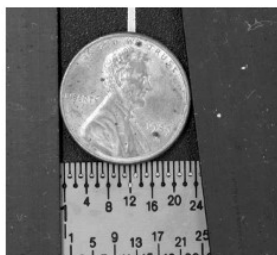


б

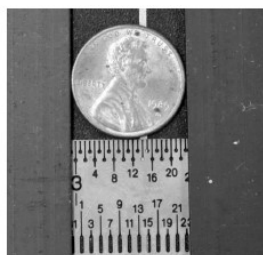
Рис. 61. Измерительные линейки и рулетки: школьная линейка (внизу), выровненная с прослеживаемой линейкой (вверху) (а); строительные металлические рулетки (внизу), выровненные с прослеживаемой рулеткой (вверху) (б)



a

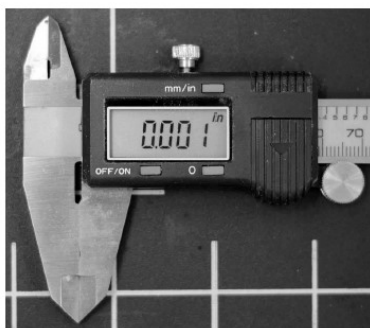


б

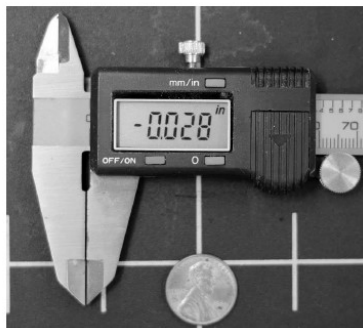


в

Рис. 62. Попытка измерить диаметр монеты дюймовой линейкой: визуально, выровняв край с концом линейки (*a*); путем помещения монеты между двумя линиями, край не выровнен (*б*); путем помещения монеты между параллельными прямыми линиями, край выровнен (*в*)



a



б

Рис. 63. Попытка измерить диаметр с помощью штангенциркуля: шкала штангенциркуля перед использованием не обнулена (*a*); губки штангенциркуля не были плотно сомкнуты, а дисплей обнулен (*б*)

Предположим далее, что нам необходимо указать вес монеты как минимум с двумя десятичными знаками. Это означает, что нужен инструмент, который может производить как минимум три знака после запятой. Лучше всего начать с выбора подходящего оборудования с учетом трех критериев: разумного, оправданного и пригодного для использования.

На рис. 64 проиллюстрировано взвешивание монеты на различных измерительных приборах:

– напольные весы (рис. 64, *a*) не соответствуют ни одному из критериев, поскольку указывают на то, что копейка невесомая. В этом

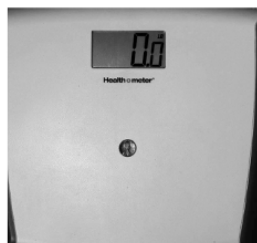
случае выбор прибора влияет на точность, потому что измеренное значение не является приемлемой оценкой истинного значения. Изменчивость не затронута, потому что каждый пенни будет давать одинаково неправильный вес каждый раз, точный, но бесполезный результат;

– кухонные весы (рис. 64, б, в) выдают только одну цифру, которая в данном примере не подходит для цели, так как мы должны сообщать измерение с двумя десятичными знаками. Использование этого инструмента также влияет на точность, потому что измеренный вес не является разумным или приемлемым для оценки истинного веса;

– разумный и приемлемый выбор прибора сделан (рис. 64, г, д, е). Выбраны аналитические весы, способные считывать вес до четырех знаков после запятой. Если они откалиброваны, то определенный таким образом вес будет являться приемлемой оценкой истинного значения веса монеты. Однако процедура измерения может оказать влияние на результат.

На рис. 64, б, в показано, как изменчивость будет зависеть от использования кухонных весов. После перемещения монеты в другое место дисплей показывает, что теперь измеренное значение на 50 % выше, чем полученное при первом взвешивании. Влияние весов на точность и изменчивость (и в конечном счете на неопределенность) является функцией как неподходящего инструмента, так и процедуры, используемой для получения веса. Чем сложнее процедура, тем больше вклад самой процедуры в неопределенность. Поэтому, как правило, лучше всего начать с подбора инструмента, а затем пройти процедуру по мере того, как приступим к построению оценки неопределенности.

Можно подумать, что при работе на лабораторных аналитических весах это тривиально: убедитесь, что баланс показывает ноль, когда на нем ничего нет; поместите монету на чашу и запишите вес. На рис. 64, д монета смещена от центра (эксцентрическая нагрузка), и в результате измеренный вес теперь на 0,003 г меньше веса, полученного при центрировании нагрузки (рис. 64, г). На рис. 64, е вес значительно отличается, хотя монета расположена по центру. Если внимательно посмотреть на фотографию, можно увидеть, что весы установлены на опорную поверхность не по уровню, это также влияет на показания прибора.



a



б



в



г



д



е

Рис. 64. Попытка измерить вес монеты на весах:
напольные весы – монета ничего не весит (*a*);
та же монета на кухонных весах (*б*, *в*);
монета на лабораторных аналитических весах (*г*, *д*, *е*)

Проблемы с процедурой сказываются на точности и изменчивости. Мы не можем решить процедурных проблем, так же как покупка самой дорогой отслеживаемой линейки в мире не улучшит измерение диаметра: если используется плохая методика, возникают ошибки. При тщательных измерениях наша цель состоит в том, чтобы уменьшить побольше источников ошибок и отслеживать только те, которые нам не устранить. Полезно знать и распознавать типы ошибок, которые могут возникать.

К счастью, такие проблемы сводятся к минимуму путем сочетания обучения оператора работе с измерительным прибором и обработки

результатов измерений. В судебно-экспертных лабораториях имеются типовые экспертные методики, в которых прописаны алгоритм действий, приемы, направленные на ограничение изменчивости, вызванной неправильной эксплуатацией инструментов. Например, указано, что пользователь должен следить за тем, чтобы весы были выровнены относительно плоскости, на которой они находятся, а объект помещали непосредственно в центр чаши весов. Отклонение (и неопределенность) никогда не будут устранены, но они могут быть уменьшены до минимума, который мы способны оценить количественно.

Многократное выполнение одной и той же операции измерения и вычисление стандартного отклонения полученных значений – один из наиболее распространенных методов оценки неопределенности измерений. Полученное стандартное отклонение (или стандартное отклонение среднего значения) является стандартной оценкой неопределенности. Оценки неопределенности, полученные как стандартное отклонение результатов повторных измерений, называют **оценками неопределенности типа А**. Если неопределенность оценивается с использованием некоторых средств, отличных от статистической обработки результатов повторных измерений, полученные оценки называются **оценками неопределенности типа Б**. Другими средствами могут выступать, например, справочные материалы, спецификации и руководства по приборам, оценки на основе многолетнего опыта и т. д.

§ 4. Выражение результатов измерений

Ряд используемых в действующей нормативно-технической документации характеристик погрешности, по существу, не отличается от показателей неопределенности – это те же средние квадратичные (стандартные) отклонения и доверительные границы (интервалы), но описанные другими словами, однако имеются различия, связанные с терминологией и некоторыми особенностями расчета.

Таким образом, в терминах классической теории точности **неопределенность результата измерения** выступает аналогом погрешности результата измерения, которая определяет интервал вокруг измеренного значения $S_{\text{изм}}$, где истинное значение $S_{\text{ист}}$ лежит с некоторой

вероятностью. Сама погрешность измерения U является полушириной этого интервала. Следующая схема на рис. 65 иллюстрирует сказанное.

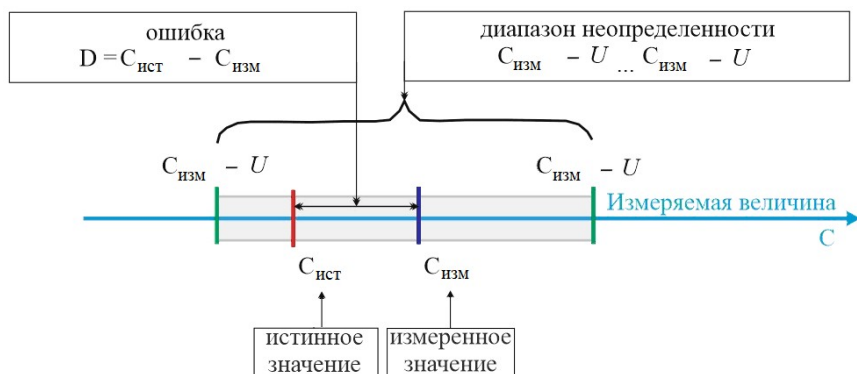


Рис. 65. Схема взаимосвязи между понятиями «истинное значение», «измеренное значение», «ошибка» и «неопределенность»

Неопределенность измерения всегда связана с некоторой вероятностью. Как будет видно из следующего примера, обычно невозможно вычислить интервал неопределенности таким образом, чтобы истинное значение находилось в нем с вероятностью 100 %.

Неопределенность измерения, как здесь выражено, в некотором контексте также называется **абсолютной неопределенностью измерения**. Это означает, что погрешность измерения выражается в таких же единицах, как и измеряемая величина. Еще неопределенность измерения выражают как **относительную неопределенность измерения**, которая представляет собой отношение абсолютной неопределенности U_{abs} к измеренному значению x , *выраженному в процентах*:

$$U_{\text{rel}} = U_{\text{abs}} / x \cdot 100 \, \%.$$

Неопределенность измерения отличается от ошибки тем, что она не выражает разницу между двумя значениями и не имеет знака. Поэтому ее нельзя использовать для исправления результата измерения и принимать за оценку ошибки, поскольку ошибка имеет знак. Вместо этого неопределенность измерения может рассматриваться как оценка того, какова наибольшая вероятная абсолютная разница между

измеренным значением и истинным значением. С большой вероятностью разница между измеренным значением и истинным значением фактически ниже, чем погрешность измерения. Однако существует низкая вероятность того, что эта разница может быть выше, чем погрешность измерения.

И истинное значение, и ошибка (случайная и систематическая) являются абстрактными понятиями. Их точные значения не могут быть определены. Тем не менее эти концепции полезны, потому что их **оценки** можно определить. Фактически, как сказано выше, наша измеренная величина является оценкой истинного значения.

Когда выводы сделаны из результатов измерений, нельзя забывать о неопределенности измерений. Это особенно важно, когда измерения используются для проверки соответствия спецификации.

Иногда результат явно находится за пределами спецификации, но неопределенность может перекрывать предел верхний либо нижний. Четыре вида результатов показаны на рис. 66.

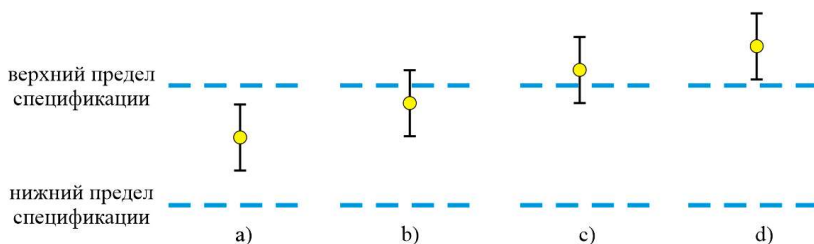


Рис. 66. Положение результата измерения и его неопределенности относительно пределов заявленной спецификации

В случае *a* и результат, и неопределенность попадают в указанные пределы, это квалифицируется как соответствие.

В случае *d* ни результат, ни какая-либо часть полосы неопределенности не попадают в указанные пределы, это квалифицируется как несоблюдение.

Случаи *b* и *c* не находятся ни полностью внутри, ни вне пределов, никакое твердое заключение о соответствии не может быть сделано.

Неопределенность типа А, или **случайная погрешность**, – составляющая неопределенности измерения, изменяющаяся случайным образом в серии измерений и не носящая систематического

характера. Ее оценивают статистическими методами (т. е. имеется возможность получить и обработать множество измерений одной величины).

Неопределенность типа Б, или систематическая погрешность, – составляющая неопределенности измерений, постоянная или изменяющаяся по известному закону (погрешность прибора, калибровки, методики измерения и пр.).

Есть другие систематические ошибки в измерениях, которые возникают в собственной лаборатории пользователя. Их успешная идентификация и оценка зависят от детального знания процесса измерения и опыта человека, проводящего измерения.

Стандартная неопределенность результата измерения, или стандартное отклонение погрешности, – неопределенность, представленная в виде стандартного отклонения.

Здесь стоит подчеркнуть три важных аспекта стандартной неопределенности:

1. Стандартное отклонение может быть рассчитано также для количеств, которые обычно не распределяются. Это позволяет получить для них стандартные оценки неопределенности.

2. Кроме того, источники неопределенности, которые являются систематическими по своей природе и не могут быть оценены путем повторных измерений, все еще могут быть выражены численно в виде стандартных оценок неопределенности.

3. Преобразование различных типов оценок неопределенности в стандартную неопределенность очень важно, потому что большинство вычислений в оценке неопределенности, соответствующих различным источникам, выполняются с использованием стандартных неопределенностей.

Расширенная неопределенность, или доверительные границы результата измерения, – интервал вокруг результата измерения, в который, как ожидается, попадает большая часть значений, приписанных к измеряемой величине.

Вероятность охвата, вероятность покрытия, или доверительная вероятность, – вероятность, с которой большая часть значений, приписанных к измеряемой величине, попадает в заданную область расширенной неопределенности результата измерений. При выборе вероятности охвата необходимо иметь представление о виде закона распределения неопределенности.

Коэффициент охвата, коэффициент покрытия, или коэффициент распределения погрешности, – коэффициент, зависящий от вида распределения неопределенности результата измерений. Равен отношению расширенной неопределенности, при заданной вероятности охвата, к стандартной неопределенности.

Эксперт – это тот, кто должен наилучшим образом количественно оценить неопределенность измерения на основе всех возможных факторов, влияющих на результат. Следовательно, лицо, проводящее измерение, обязано вынести наилучшее суждение и сообщить о неопределенности таким образом, чтобы четко объяснить, что

Измерение = Измеренное значение $\pm$ Стандартная неопределенность,

где $\pm$ **стандартная неопределенность** – это разброс значений, 68 % которых находится в пределах доверительного интервала.

Стандартную неопределенность можно рассматривать как эквивалентную «одному стандартному отклонению», но только если требуется, чтобы общая неопределенность была заявлена на другом уровне достоверности (95 или 99 %). При этом используют коэффициент охвата или покрытия $k = 1, 2$ или 3 .

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Когда эксперт сообщает результат экспериментального измерения величины x , необходимо назвать среднее значение $\langle x \rangle$ измерений, а во-вторых, сообщить об отклонении, показав стандартное отклонение σ_x измерений.

Любые экспериментальные измерения должны быть представлены в следующей форме:

$$x = \langle x \rangle \pm \sigma_x.$$

На рис. 67 перечислены тридцать измерений массы образца m (кг). Мы можем представить эти данные в виде гистограммы, которая показывает количество измеренных значений, лежащих в диапазоне значений массы с заданной средней точкой.

Результаты измерений массы образца

1,09	1,01	1,10	1,14	1,16
1,11	1,04	1,16	1,13	1,17
1,14	1,03	1,17	1,09	1,09
1,15	1,06	1,12	1,08	1,20
1,08	1,07	1,14	1,11	1,05
1,06	1,12	1,00	1,10	1,07

Распределение массы в зависимости от числа наблюдений

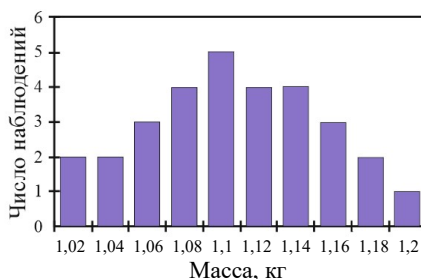


Рис. 67. Пример математической обработки полученных результатов

Средние значения массы $\langle m \rangle$ определяются для тридцати измерений:

$$\langle m \rangle = 33,04 : 30 = 1,10 \text{ кг.}$$

Стандартное отклонение вычисляется как

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{1}{30-1} \sum_{i=1}^{i=30} (m_i - 1,10)^2} = 0,05 \text{ кг.}$$

Мы также видим из гистограммы, что на самом деле данные, по-видимому, разбросаны около среднего значения 1,10 кг, так что приблизительно 70 % ($20 : 30 \cdot 100 \%$) значений находится в пределах σ_m от среднего значения. Измеренная масса неизвестного образца в документах сообщается как

$$m = 1,10 \pm 0,05 \text{ кг.}$$

В лабораторных терминах такой процесс аналогичен разработке и валидации методики. Эксперт должен пройти обучение и научиться следовать стандартным процедурам, прежде чем будет иметь смысл полагаться на то, что он является приемлемо точным с минимальными вариациями. Как только процесс стандартизирован и человек обучен, можно пойти дальше и применить теорию основных оценок неточных измерений, чтобы получить еще более точные оценки

изменчивости. Мы все равно будем регулярно проверять точность, но, взяв данные, сможем предоставить утверждение относительно мастерства эксперта, что-то вроде «Мы на 70 % уверены, что измерение попадет в установленный диапазон». Существует 30 % вероятность того, что любое измерение выпадет за пределы этого диапазона. Это достаточно хорошо для экспертизы? Напомним про критерии разумного, оправданного и пригодного для использования. Для трасологической экспертизы 70 %, вероятно, приемлемо. А в случае экспертизы наркотических средств и их прекурсоров, когда от сотых долей веса наркотика будет зависеть наказание? Тогда возникает общий вопрос. Если 70 % – хорошо, а 99,9 % – еще лучше, почему бы не использовать более высокую вероятность? Есть веская причина не делать это или очень хорошо подумать, прежде чем делать. Допустим, мы хотим быть на 99 % уверены, что измерение будет истинным. Единственный способ сделать это – увеличить площадь разброса (увеличение достоверности означает увеличение размера диапазона).

Уровень достоверности выбирают в зависимости от ситуации и того, что имеет смысл (т. е. цели). В криминалистике 95 % – наиболее распространенное значение, другие могут быть приняты по мере необходимости. Уровень доверия с показателем 95 % не является оценкой; это значение описывает размер диапазона, и его выбор не следует сводить к автоматическому принятию наибольшего значения по умолчанию. Как и все вопросы, связанные с неопределенностью, выбор такого значения должен быть основан на вдумчивом анализе и понимании.

§ 5. Порядок определения доверительного интервала измеряемой величины

Математическая обработка результатов осуществляется в приведенной ниже последовательности:

1. Если количественная характеристика признака может быть получена путем прямого измерения, то таких измерений проводят не менее пяти.

Предположим, что в результате измерения статических следов на древесине с помощью штангенциркуля с ценой деления прибора 0,05 мм получены значения:

$$x_1 = 20,2; x_2 = 19,9; x_3 = 19,85; x_4 = 20,25; x_5 = 20,2.$$

2. Для максимально возможного исключения влияния случайной погрешности вычисляется среднее арифметическое значение измеряемой величины. Оно равно частному от деления суммы всех результатов измерения на количество измерений:

$$x_{\text{ср}} = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_5) / n ,$$

где $x_{\text{ср}}$ – среднеарифметическое значение величины;

n – количество измерений.

В нашем случае

$$x_{\text{ср}} = (20,2 + 19,9 + 19,85 + 20,25 + 20,2) : 5 = 20,8.$$

3. Определяется абсолютная погрешность каждого измерения. Она составляет разность между средним арифметическим и данным результатом:

$$\Delta x_i = x_{\text{ср}} - x_i ,$$

где x_i – абсолютная погрешность отдельного измерения;

i – номер каждого измерения.

В нашем случае абсолютная погрешность каждого измерения будет равна:

$$\Delta x_1 = 20,08 - 20,2 = -0,12;$$

$$\Delta x_2 = 20,08 - 19,9 = 0,18;$$

$$\Delta x_3 = 20,08 - 19,85 = 0,23;$$

$$\Delta x_4 = 20,08 - 20,25 = -0,17;$$

$$\Delta x_5 = 20,08 - 20,2 = -0,12.$$

4. Абсолютная погрешность каждого измерения возводится во вторую степень (в квадрат):

$$\Delta x_1 = (-0,12)^2 = 0,144;$$

$$\Delta x_2 = (0,18)^2 = 0,324;$$

$$\Delta x_3 = (0,23)^2 = 0,529;$$

$$\Delta x_4 = (-0,17)^2 = 0,289;$$

$$\Delta x_5 = (-0,12)^2 = 0,144.$$

5. Вычисляется промежуточный результат квадратичной абсолютной ошибки:

$$\begin{aligned} \Sigma(\Delta x_i)^2 &= \Delta x_1^2 + \Delta x_2^2 + \Delta x_3^2 + \Delta x_4^2 + \Delta x_5^2 = \\ &= 0,144 + 0,324 + 0,529 + 0,289 + 0,144 = 1,430. \end{aligned}$$

6. Вычисляется среднеквадратичная ошибка для малого числа измерений (от 5 до 10) по следующей формуле:

$$\Delta Sx = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta x_i)^2}{n(n-1)}} ,$$

где ΔSx – средняя квадратичная ошибка;

$\Sigma(\Delta x_i)^2$ – сумма квадратов средней квадратичной ошибки;

n – количество измерений (для нас $n = 5$).

Таким образом, ΔSx равняется квадратному корню из частного от деления $\Sigma(\Delta x_i)^2$ на произведение $n(n-1)$, которое в нашем примере равняется $(5 \times 4) = 20$:

$$\Delta Sx = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta x_i)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{1,430}{20}} = \sqrt{0,0715} = 0,267.$$

7. Вычисляется доверительная вероятность по формуле

$$\alpha = 1 - m / x_{\max} ,$$

где m – цена деления измерительного прибора (0,05);

$x_{\max}$ – наибольшее значение измерения (20,25):

$$\alpha = 1 - 0,05 : 20,25 = 0,9975.$$

8. Определяется значение коэффициента Стьюдента t_{CT} .

Оно зависит от количества измерений n и значения доверительной вероятности α . Ниже приводится таблица для небольшого количества измерений (см. приложение).

В нашем примере $\alpha = 0,99$, а $n = 5$, следовательно, $t_{CT} = 4,6$ (см. приложение).

9. Определяется вычисленная ошибка серии измерений (Δx) как произведение коэффициента Стьюдента и средней квадратичной ошибки измерения:

$$\Delta x = t_{CT} \times \Delta Sx = 4,6 \cdot 0,267 = 1,22.$$

10. Находим доверительный интервал истинного значения измеряемой величины $x_{\text{ист}}$:

$$x_{\text{ист}} = x_{\text{ср}} \pm \Delta x = 20,08 \pm 1,22.$$

Таким образом, в результате вычисления определен интервал, в котором находится истинное значение измеренной величины:

$$21,3 > x_{\text{ист}} > 18,86.$$

Вероятность нахождения в этом интервале истинного значения измеряемой величины чрезвычайно высока и составляет 0,99.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОК 015–94 (МК 002–97). Общероссийский классификатор единиц измерения (утв. постановлением Госстандарта России от 26.12.1994 № 366) (ред. от 26.07.2022) // КонсультантПлюс. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 29.10.2022).

2. Демина, Л. Н. Методы и средства измерений, испытаний и контроля : учебное пособие / Л. Н. Демина. – Москва : НИЯУ МИФИ, 2010. – 292 с. – ISBN 978-5-7262-1290-6.

3. Криминалистика: полный курс : учебник для вузов / под общ. ред. А. Г. Филиппова. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Юрайт, 2015. – 855 с. – ISBN 978-5-9916-3267-6.

4. Международная система единиц физических величин : методические указания / В. М. Червяков. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 16 с.

5. Busch, Paul. Heisenberg's Uncertainty Principle / Paul Busch, Heinonen Teiko, Lahti Pekka // Physics Reports. – 2007. – 452.6. – P. 155–176.

6. Mehra, Jagdish. Niels Bohr's Discussions with Albert Einstein, Werner Heisenberg, and Erwin Schrödinger: The Origins of the Principles of Uncertainty and Complementarity / J. Mehra // Foundations of Physics. – 1987. – 17.5. – P. 461–506.

7. Stöckl, Albert. Handbook of the History of Philosophy / A. Stöckl. – London : Longmans, Green & Company, 1914. – Vol. 1. – 464 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Табличные значения коэффициента Стьюдента

n	α												
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
2	0,16	0,33	0,51	0,73	1,00	1,38	2,0	3,1	6,3	12,7	31,8	63,7	636,6
3	0,14	0,29	0,45	0,62	0,82	1,06	1,3	1,9	2,9	4,3	7,0	9,9	31,6
4	0,14	0,28	0,42	0,58	0,77	0,98	1,3	1,6	2,4	3,2	4,5	5,8	12,9
5	0,13	0,27	0,41	0,57	0,74	0,94	1,2	1,5	2,1	2,8	3,7	4,6	8,7
6	0,13	0,27	0,41	0,56	0,73	0,92	1,2	1,5	2,0	2,6	3,4	4,0	6,9
7	0,13	0,27	0,40	0,55	0,72	0,90	1,1	1,4	1,9	2,4	3,1	3,7	6,0
8	0,13	0,26	0,40	0,55	0,71	0,90	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	3,5	5,4
9	0,13	0,26	0,40	0,54	0,71	0,89	1,1	1,4	1,9	2,3	2,9	3,4	5,0
10	0,13	0,26	0,40	0,54	0,70	0,88	1,1	1,4	1,8	2,3	2,8	3,3	4,8
11	0,13	0,26	0,40	0,54	0,70	0,88	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,2	4,6
12	0,13	0,26	0,40	0,54	0,70	0,87	1,1	1,4	1,8	2,2	2,7	3,1	4,5
13	0,13	0,26	0,40	0,54	0,70	0,87	1,1	1,4	1,8	2,2	2,7	3,1	4,3
14	0,13	0,26	0,39	0,54	0,69	0,87	1,1	1,4	1,8	2,2	2,7	3,0	4,2
15	0,13	0,26	0,39	0,54	0,69	0,87	1,1	1,3	1,8	2,1	2,6	3,0	4,1
16	0,13	0,26	0,39	0,54	0,69	0,87	1,1	1,3	1,8	2,1	2,6	2,9	4,0
17	0,13	0,26	0,39	0,54	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,6	2,9	4,0
18	0,13	0,26	0,39	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,6	2,9	4,0
19	0,13	0,26	0,39	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,6	2,9	3,9
20	0,13	0,26	0,39	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,9	3,9
21	0,13	0,26	0,39	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,8
22	0,13	0,26	0,39	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,8
23	0,13	0,26	0,39	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,8
24	0,13	0,26	0,39	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,8
25	0,13	0,26	0,39	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,7
26	0,13	0,26	0,39	0,53	0,68	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,7
27	0,13	0,26	0,39	0,53	0,68	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,7
28	0,13	0,26	0,39	0,53	0,68	0,86	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	2,8	3,7
29	0,13	0,26	0,39	0,53	0,68	0,86	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	2,8	3,7
30	0,13	0,26	0,39	0,53	0,68	0,85	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	2,8	3,7
40	0,13	0,26	0,39	0,53	0,68	0,85	1,1	1,3	1,7	2,0	2,4	2,7	3,6
60	0,13	0,25	0,39	0,53	0,68	0,85	1,0	1,3	1,7	2,0	2,4	2,7	3,5
120	0,13	0,25	0,39	0,53	0,68	0,84	1,0	1,3	1,7	2,0	2,4	2,6	3,4

Учебное издание

Бардаченко Алексей Николаевич
Васильев Василий Алексеевич
Евстропов Дмитрий Анатольевич

ИЗМЕРЕНИЯ
В ТРАСОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ.
ПРИМЕРЫ РАБОТЫ
С ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ ПРИБОРАМИ

Учебное пособие

Редактор *А. В. Секретёва*
Компьютерная верстка *Ю. В. Сиволапова*
Дизайн обложки *А. Н. Улизко*

Волгоградская академия МВД России.
400075, г. Волгоград, ул. Историческая, 130.

Редакционно-издательский отдел.
400005, г. Волгоград, ул. Коммунистическая, 36.

Подписано в печать 28.02.2023. Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Times New Roman. Физ. печ. л. 7,3. Усл. печ. л. 6,7.
Тираж 30 экз. Заказ 5.

ОПиОП РИО ВА МВД России. 400005, г. Волгоград, ул. Коммунистическая, 36.