

Учреждение образования
«Академия Министерства внутренних дел Республики Беларусь»

Г.А. Мельникова

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЭКСПЕРТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рекомендовано Министерством внутренних дел Республики Беларусь
в качестве учебного пособия
для обучающихся в учреждениях высшего образования
Министерства внутренних дел Республики Беларусь
по специальности 1-93 01 02 «Судебная экспертиза»

Минск
Академия МВД
2016

УДК 343.98
ББК 67.52
М48

Рецензенты:

кафедра уголовного права и криминалистики юридического факультета
Полоцкого государственного университета;
кафедра государственно-правовых дисциплин факультета права
Белорусского государственного экономического университета;
заместитель начальника главного управления специальных экспертиз –
начальник управления физико-химических и взрывотехнических экспертиз
центрального аппарата Государственного комитета судебных экспертиз
Н.И. Сасункевич

Мельникова, Г.А.

М48 Методы и средства экспертных исследований : учебное
пособие / Г.А. Мельникова ; учреждение образования «Акад.
М-ва внутр. дел Респ. Беларусь». – Минск : Академия МВД,
2016. – 185 [3] с.

ISBN 978-985-427-980-0.

Рассматриваются современные возможности методов и технических средств при проведении предварительных и экспертных исследований; правовые, организационные, тактические и методические основы их применения на стадиях обнаружения, фиксации, изъятия, предварительного и экспертного исследований вещественных доказательств.

Предназначено для обучающихся по специальности 1-93 01 02 «Судебная экспертиза».

УДК 343.98
ББК 67.52

ISBN 978-985-427-980-0

© УО «Академия Министерства внутренних дел
Республики Беларусь», 2016

ВВЕДЕНИЕ

Прогрессирующее развитие науки и техники предоставляет все большие возможности экспертным подразделениям использовать современные методы и методики для решения задач следствия и суда. Их применение требует от эксперта глубоких специальных знаний в различных отраслях науки и техники. Изучение дисциплины «Методы и средства экспертных исследований» обеспечивает подготовку высококвалифицированных специалистов в области судебной экспертизы.

Основное внимание при изучении дисциплины уделяется возможностям и областям применения инструментальных методов исследования. Изучение всеобщего и общих методов предусматривается дисциплинами «Философия» и «Концепции современного естествознания». Большинство частноэкспертных методов рассматривается при изучении судебных экспертиз, методы криминалистической фотографии – в курсе «Криминалистическая фотография».

Подготовка экспертов осуществляется на базе учреждения высшего образования юридического профиля. В процессе обучения будущие эксперты не получают фундаментальных знаний по естественным наукам, необходимых для освоения сложных инструментальных методов исследования; данная дисциплина включает изучение только основных принципов, на которых основаны современные методы исследования объектов судебной экспертизы, их возможности и значение в экспертных исследованиях. Знание возможностей методов исследования для получения информации о свойствах конкретного объекта требуется как для решения экспертных задач, так и для правильной организации экспертизы – определения формы комплексного исследования, порядка проведения исследований.

Изучение дисциплины «Методы и средства экспертных исследований» необходимо для получения и использования в практической деятельности знаний:

- о классификации и общей характеристике методов и технических средств, применяемых при собирании вещественных доказательств, проведении предварительного и экспертного исследований;

- основах метрологии, видах и методах измерений, видах ошибок, средствах измерений;

- физических, физико-химических и химических методах анализа, применяемых при проведении экспертных исследований.

Полученные в процессе обучения теоретические знания позволят экспертам на практике применять технические средства обнаружения, фиксации, изъятия и исследования материальных объектов – вещественных доказательств; измерительную технику в экспертных исследованиях; технические средства для исследования криминалистических объектов физическими, химическими и физико-химическими методами; оказывать консультационную помощь следователям в правильной постановке вопросов при направлении объектов на экспертное исследование с учетом современных возможностей методов исследования; оценивать использование в экспертизе современных методов исследования с точки зрения целесообразности и эффективности их применения, полноты проведенного исследования и соответствия полученной информации возможностям данного метода.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ СОБИРАНИИ И ИССЛЕДОВАНИИ ВЕЩЕСТВЕННЫХ ДОКАЗАТЕЛЬСТВ

1.1. Понятия метода и средств судебной экспертизы и критерии их использования в экспертной практике

В теории познания методом называется наиболее общий путь исследования явлений в природе и обществе для достижения какой-либо цели. Понятие «метод» включает в себя систему приемов (способов). Совокупность приемов (способов) для систематического и наиболее целесообразного проведения какой-либо работы, порядок их применения и интерпретация полученных с их помощью результатов образуют методику. Под приемами же подразумеваются отдельные действия, являющиеся законченными элементами какого-нибудь процесса, работы, деятельности, образа действия при выполнении чего-либо. Следовательно главенствующее место занимают методы изучения явлений, приемы же и средства носят подчиненный характер.

Таким образом, **понятие «метод»** (от греч. *methodos* – путь к чему-либо) означает совокупность приемов и операций практического и теоретического освоения действительности. Метод вооружает человека системой правил, принципов, подходов в изучении явлений, закономерностей природы, общества, мышления. Владение методом означает для человека знание того, каким образом, в какой последовательности совершать те или иные действия для решения тех или иных задач, и умение применять это знание на практике. Видный философ XVII в. Ф. Бэкон сравнивал метод познания с фонарем, освещающим дорогу путнику, идущему в темноте.

Научный метод – совокупность основных способов получения новых знаний и методов решения задач в рамках любой науки.

Метод включает в себя способы, приемы исследования явления, объекта, систематизацию новых и полученных ранее знаний. Умозаключения и выводы делаются с помощью правил и принципов рассуждения на основе эмпирических (наблюдаемых и измеряемых) данных об объекте. Данные получают, применяя наблюдения и эксперименты. Для объяснения наблюдаемых фактов выдвигаются гипотезы и строят-

ся теории, на основании которых формулируются выводы и предположения. Полученные прогнозы проверяются. Каждая наука использует различные методы, которые зависят от характера решаемых в ней задач. Они относительно независимы от типа проблем, но зато зависимы от уровня и глубины научного исследования. Можно условно выделить три характерных уровня научного исследования: эмпирический, теоретический и производственно-технический.

Эмпирический уровень предполагает необходимость сбора фактов и информации (установление фактов, их регистрация, накопление), а также их описание (изложение фактов и их первичная систематизация).

Теоретический уровень связан с объяснением, обобщением, созданием новых теорий, выдвижением гипотез, открытием новых законов, предсказанием новых фактов в рамках этих теорий. С их помощью вырабатывается научная картина мира и тем самым осуществляется мировоззренческая функция науки.

Производственно-технический уровень проявляет себя как непосредственная производственная сила общества, прокладывая путь развитию техники, но это уже выходит за рамки собственно научных методов, так как носит прикладной характер.

Знание метода имеет огромное практическое значение, так как оно ориентирует исследователя, помогая ему наметить путь от неизвестного к известному, от простого к сложному.

Существует целая область знания, которая специально занимается изучением методов, – методология. Изучая закономерности человеческой познавательной деятельности, методология вырабатывает на этой основе методы ее осуществления. Таким образом, **методология** – это учение о структуре, логической организации, методах и средствах деятельности (научного познания).

Методология общей теории судебной экспертизы включает в себя в качестве необходимого элемента методы и методики решения задач судебной экспертизы.

Методология судебно-экспертной деятельности представляет собой учение о структуре, логической организации, методах и средствах этой деятельности.

Метод экспертизы (экспертного исследования) – система логических и (или) инструментальных операций (способов, приемов) получения данных для решения вопроса, поставленного перед экспертом. Операции, образующие метод, представляют собой практическое применение знаний закономерностей объективной действительности для получения новых знаний.

Принято различать методы исследования, применяемые в науке при разработке теоретических и экспериментальных проблем, и методы, применяемые в экспертной деятельности. Однако это деление весьма условно, так как используемые в экспертной практике методы также имеют научный характер, поскольку основываются на достижениях науки и техники.

Однако экспертное исследование вещественных доказательств отличается от научного исследования. Научные методы и средства используются в деятельности судебных экспертов и экспертных учреждений не для открытия новых законов и закономерностей природы и общества, не для создания теории и проверки научных гипотез, а для решения практических задач по установлению истины по гражданскому или уголовному делу либо по делу об административном правонарушении.

Методы судебно-экспертной практической деятельности, представляющие собой системы действий и операций по решению практических экспертных задач, базируются на соответствующих научных методах, зависят от характера и свойств объекта исследования и основываются на опыте решения конкретных экспертных задач, в том числе на алгоритмических правилах и разработанных самим экспертом методиках.

Таким образом, в практической судебно-экспертной деятельности могут применяться те же методы, что и в научном исследовании, если их использование не противоречит требованиям законности и этическим нормам, т. е. отвечает принципу допустимости в его общей форме. В остальном же судебный эксперт практически не ограничен в выборе средств и методов исследования при условии соблюдения общих правил работы с доказательствами.

Средство – инструмент реализации методов.

Средства экспертных исследований – это оборудование, приборы, инструменты, материалы, вещества и т. д. для собирания, изучения и использования судебных доказательств.

Понятие «технико-криминалистические средства» в сравнении с понятием «экспертно-криминалистические средства» более широкое. К ним относят: средства обнаружения, фиксации, изъятия следов преступления и иных объектов – вещественных доказательств; средства криминалистических учетов, коллекций и картотек; средства для научной организации труда следователя, судей, экспертов; средства предварительных и экспертных исследований различных объектов, в том числе вещественных доказательств; средства, используемые для предупреждения преступных посягательств.

В криминалистике разработаны *критерии использования методов в судебной экспертизе*:

безопасность – применение метода не должно угрожать жизни и здоровью людей. При проведении следственных действий и оперативно-розыскных мероприятий, когда используются химические реактивы и приборы с различными излучениями (например, ультрафиолетовое, рентгеновское), необходимо жестко соблюдать правила техники безопасности. При экспертном исследовании живых лиц или при получении от них образцов для сравнительного исследования недопустимо применять вредные для здоровья химические реактивы или излучения;

научность – достоверность, точность, надежность и воспроизводимость получаемых результатов. Метод должен быть результатом научной разработки. Недопустимы методы, не имеющие научной основы либо опирающиеся на псевдонаучные «теории», например астрологию, гадание. Научность метода подтверждается апробацией. Только после экспериментального подтверждения метод может быть рекомендован к использованию;

допустимость (законность и этичность) – метод не должен противоречить конституционным принципам законности и нравственным критериям общества, т. е. он должен не ущемлять прав граждан, не унижать их достоинства, исключать угрозу и насилие и не приводить к нарушению норм процессуального права;

безущербность – метод не должен разрушать, изменять существенные для процесса доказывания свойства получаемых, исследуемых или применяемых доказательственных объектов. Но многие современные аналитические методы при исследовании разрушают объект. А выбор метода зависит от необходимости получить результаты для решения экспертной задачи. Разрушение, уничтожение объекта разрешается только в крайних случаях по согласованию со следователем (судом), назначившим экспертизу. Единственным субъектом, который может использовать метод, разрушающий или видоизменяющий изучаемый объект, является эксперт;

эффективность – определяется возможностью получения положительного результата при минимальных затратах времени, материальных ресурсов. Получаемые при этом результаты должны характеризоваться точностью, наглядностью и надежностью;

доказательность и объективность – определяются достоверностью фактических данных, логичностью основанных на них выводов и целесообразностью выбора средств и методов, их применения и оценкой результатов их применения.

Результаты применения методов должны быть очевидны, наглядны и понятны для всех участников судопроизводства.

При соблюдении всех перечисленных выше критериев в каждом конкретном случае экспертного исследования перед экспертом встает проблема выбора метода для решения поставленной задачи. *Основными оценочными показателями любого метода исследования с точки зрения целесообразности его использования являются:*

сложность, определяемая объемом работы, напряженностью труда, квалификацией исследователя и влиянием этих обстоятельств на результаты;

экономичность, определяемая затратами на оборудование, подготовку специалистов и непосредственно на проведение исследования;

влияние на объекты исследования, определяемое возможностью повторного проведения исследования;

универсальность, характеризующаяся возможностью получения качественной и количественной информации, установлением одновременно нескольких свойств исследуемого объекта.

Для решения той или иной криминалистической задачи выбираются наиболее эффективные метод и средство, позволяющие достигнуть наилучших результатов в оптимальные сроки.

При выборе метода для решения поставленной экспертной задачи необходимо оценить все перечисленные выше факторы. Необходимо решить, использовать более чувствительный, но более дорогой и трудоемкий, длительный метод или достаточно применить более грубый (дающий менее точные в количественном отношении данные), но экспрессный метод. Но, как правило, выбор метода определяется не целесообразностью его применения, а просто имеющимся в лаборатории оборудованием.

Метод может быть разработан в той же области научного знания, которая является базовой для производства экспертизы одного или нескольких видов, и создан для собственных научно-практических исследований в этой науке. К таковым, например, относятся большинство физических, химических и биологических методов исследования, применяемых в соответствующих науках и после адаптации ставших экспертными методами.

Структура экспертного метода состоит из трех частей – обосновывающей, операционной и технической. Обосновывающая часть содержит изложение научной базы, на которой создан метод, и представление о результате его применения. В операционную часть входят действия, операции и приемы осуществления метода. Техническая часть включает различные материальные средства и приборы, которые позволяют реализовать метод. Так, методы исследования огнестрельного оружия основаны на закономерностях, усматриваемых в конструиро-

вании оружия, закономерностях внутренней и внешней баллистики выстрела; используют приемы криминалистического изучения оружия и боеприпасов; требуют использования оптических, фотографических и других средств изучения объектов.

В настоящее время в экспертной практике при производстве комплексных и комиссионных экспертиз часто применяется комплекс методов исследования. Такой комплекс методов может быть применен каждым экспертом. И тогда, когда экспертиза проводится единолично, эксперт может применить комплекс дополняющих друг друга методов одной или разных областей знания. Интеграция знаний приводит не только к интеграции наук, но и к интеграции их методов, что особенно наглядно проявляется при производстве экспертиз.

1.2. Классификация методов судебной экспертизы

Систематизация множества методов в науке необходима для осуществления целенаправленной и максимально эффективной деятельности, в том числе и для развития собственно научных исследований. Классификация методов как вид систематизации в практической деятельности облегчает выбор метода для достижения оптимального результата в решении какой-либо задачи. При этом выбор метода зависит от задач и объектов исследования.

Классификации методов экспертных исследований рассматривали такие ученые, как А.И. Винберг, А.Р. Шляхов, Н.Т. Малаховская, Т.В. Аверьянова, Е.Р. Россинская. Были предложены классификации по различным основаниям: степени общности и субординации; источнику происхождения; областям наук, из которых они заимствованы; целевому назначению и результатам (решаемым задачам); характеру (природе) получаемой информации (выявляемым свойствам и признакам объектов); стадиям экспертного исследования.

В качестве основной классификации методов экспертных исследований в настоящее время принята **классификация по степени общности и субординации**. Во многих учебниках криминалистики все методы делятся на две группы: общенаучные и специальные. Представляют интерес варианты классификации методов по степени общности и субординации, предложенные разными учеными.

А.И. Винберг, А.Р. Шляхов, Н.Т. Малаховская представляют структуру методов экспертного исследования в следующем виде:

1) всеобщий диалектико-материалистический метод; на этом же высоком уровне рассматриваются и методы логики;

2) общие (общепознавательные) методы: наблюдение, измерение, описание, планирование, эксперимент, моделирование и т. д.;

3) частные (инструментальные и иные вспомогательные технические) методы;

4) специальные методы (методики экспертного исследования).

Е.Р. Россинская предлагает следующую структуру методов:

1) логические методы;

2) общенаучные методы;

3) специальные методы.

Кроме данной структуры Е.Р. Россинская в своей диссертации специальные методы подразделяет на общеэкспертные (методы третьего уровня) и частноэкспертные (четвертый уровень).

Т.В. Аверьянова также предложила четырехуровневую систему классификации экспертных методов:

1) всеобщий метод – материалистическая диалектика;

2) общие методы;

3) частнонаучные методы;

4) специальные (монообъектные) методы.

Все предложенные классификации по данному основанию в основных чертах совпадают.

Всеобщий диалектический метод – общеполитический метод, выступает как научное мировоззрение о наиболее общих законах развития природы, общества и сознания. Это совокупность наиболее фундаментальных принципов и приемов, регулирующих всякую познавательную и практическую деятельность. Важнейшее значение диалектического метода заключается в том, что он является базовым, т. е. таким методом, на котором основаны и из которого вытекают все другие методы, применяемые для изучения и овладения предметом науки, изучения конкретных объектов познания – отдельных фактов и явлений объективной действительности.

Всеобщий диалектический метод не подменяет и не исключает, а предполагает применение общих и частных методов исследования, своеобразных методик и приемов, зависящих от конкретной задачи, предмета и объекта исследования. Всеобщий диалектический метод пронизывает все уровни и всю структуру всех методов, в том числе и экспертных.

Структура всеобщего диалектического метода состоит из двух частей: категорий и законов диалектической (политической) логики, формально-логических методов познания. Это положения диалектики о способности материи к отражению, о взаимосвязи и взаимообусловленности явлений, о соотношении единичного, особенного и общего и

логические приемы – анализ и синтез, формализация и аксиоматизация, индукция и дедукция, гипотеза, аналогия. Диалектический метод определяет образ правильного мышления эксперта, ведущего к истинному познанию. Диалектический метод подробно изучается в философии.

Общие (общенаучные) методы используются в самых разных областях науки. Каждый из них может применяться для решения большой группы вопросов, которые ставятся перед судебной экспертизой.

Эти методы используются и в практической деятельности, являются составной частью всех экспертных методик, применяются в экспертизах всех родов. К общим методам относятся в первую очередь чувственно-рациональные методы: наблюдение, описание, сравнение, эксперимент, моделирование.

Под *наблюдением* в теории и практике познания понимается преднамеренное, планомерное, целенаправленное восприятие объекта, явления, предпринимаемое в целях его изучения. Методом наблюдения эксперт получает информацию об объекте. Такими объектами выступают вещественные доказательства (следы преступника и преступления, документы, отдельные предметы и т. д.); образцы для сравнительного исследования; люди, трупы, участки местности; помещения; действия людей, явления и процессы.

Субъект может наблюдать лично объект – **непосредственное наблюдение**. А когда объекты недоступны для непосредственного восприятия, то используется **опосредованное наблюдение**: информация о наблюдаемом объекте, событии, факте получается из других источников, например из протоколов следственных или судебных действий. В случае если выводы эксперта базируются на результатах опосредованного наблюдения, их достоверность определяется тем, соответствуют ли действительности полученные результаты.

Различают простое и квалифицированное наблюдение. Простое наблюдение – это восприятие объектов без применения специальных приемов и средств. В данном случае инструментом наблюдения служат глаза. А квалифицированное наблюдение – наблюдение с помощью научно-технических средств или в специальных условиях.

Наблюдением при экспертном исследовании устанавливают конкретные свойства и признаки исследуемого объекта, связь с другими объектами, различают состояние предмета, его изменения, детали, обнаруживают следы и микрообъекты на предметах. Результаты наблюдения должны поддаваться контролю путем повторного наблюдения или применения других методов исследования (например, эксперимента).

Под *описанием* понимается указание существенных и несущественных признаков объекта, устанавливаемых путем наблюдения, измерения или другими методами. Этот метод является этапом обобщения

полученной информации и средством ее фиксации. Различают непосредственное и опосредованное описание. Под непосредственным понимают фиксацию (описание) признаков, воспринимаемых самим исследователем в процессе наблюдения. Опосредованное описание включает признаки объектов, воспринимавшиеся другими лицами, в том числе с помощью приборов.

С помощью описания информация обозначается и систематизируется. Систематизация может достигаться путем использования разных видов описания, начиная от типовых, позволяющих систематизировать обобщенные знания о группе событий, явлений, фактов. Эти типовые описания используются, например, в компьютерных системах поддержки принятия решений эксперта, являющихся составной частью компьютеризированного рабочего места судебного эксперта.

Метод сравнения – это сопоставление свойств или признаков двух или нескольких объектов экспертного исследования. Объектами сравнения могут быть конкретные материальные образования, мысленные образы, выводы и предположения, результаты действий и пр. При этом содержание и значение сравниваемых объектов познаются путем их сопоставления. Следовательно объекты сравнения должны быть сопоставимы, т. е. обладать общими признаками. Метод сравнения играет огромную роль в экспертизе. Без применения сравнения выявленных свойств и признаков объектов нельзя сформулировать выводы эксперта при решении как идентификационных, так и диагностических задач. Этот метод дал название одной из стадий экспертного исследования – стадии сравнительного исследования.

Эксперимент предполагает активное, целенаправленное и строго контролируемое воздействие исследователя на изучаемый объект для выявления и изучения природы, сущности объекта, явления, тех или иных его сторон, свойств, связей. В эксперименте можно создавать искусственные условия изучения объекта, преобразовывать объект. Эксперимент включает в себя такие эмпирические методы, как наблюдение и измерение.

Эксперимент отличается от наблюдения активным вмешательством экспериментатора в процессы развития наблюдаемых им явлений. Любой эксперимент основан на моделировании изучаемых явлений.

Экспертный эксперимент – это опыт, произведенный в подобных или специально созданных условиях в целях изучения того или иного факта, явления, процесса, познание которых необходимо для решения экспертной задачи.

В судебной экспертизе широко распространен эксперимент, проводимый экспертом в целях выявления механизма взаимодействия объек-

тов экспертного исследования, механизма слеодообразования, получения экспериментальных образцов для сравнительного исследования.

Моделирование – это замена объекта научного познания моделью, т. е. специально созданным аналогом, и изучение этой модели с переносом результатов исследования на исследуемый объект. В модели воспроизводятся изучаемый процесс, отображение пространственных свойств или отношений объектов, их связей и зависимостей. Здесь применяются методы аналогии и теории подобия при проведении и обработке данных эксперимента.

Моделирование применяется, когда изучать объект в естественных условиях трудно или невозможно или когда необходимо воспроизвести процессы взаимодействия исследуемого объекта со средой до наступления исследуемого события, в момент события происхождения либо после него до поступления объекта на экспертное исследование.

В судебной экспертизе метод моделирования применяется при реконструкции измененных или уничтоженных объектов, установлении давности образования материальных следов преступления.

К общим методам относятся и математические методы: измерение, вычисление, геометрическое построение, математическое моделирование.

Измерение – это совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, для нахождения соотношения измеряемой величины с ее единицей и получения значения этой величины. В судебной экспертизе измерения проводят при описании различных характеристик исследуемых объектов (размеров, массы, температуры и т. д.), исследовании объектов различными техническими средствами (например, определение твердости металла в экспертизе холодного оружия).

Для определения многих числовых характеристик различных физических величин, характеризующих исследуемый объект, используются различные *вычисления*. При вычислениях широко используются статистические методы, методы математического моделирования и кибернетики.

В судебной экспертизе применяется и *метод геометрического построения*, например в габитоскопии, трасологических исследованиях, баллистической экспертизе.

Математическое моделирование состоит в построении и исследовании математических моделей, подлежащих изучению процессов и объектов. Математическое моделирование в экспертизе заключается в трансформации криминалистической задачи в математическую задачу, ее решении посредством математического аппарата и криминалистиче-

ской интерпретации полученных математических результатов. Обычно в криминалистической экспертизе математическая модель создается для решения типовой судебно-экспертной задачи. Например, математические модели в судебном почерковедении не только позволяют анализировать признаки почерка в процессе его изучения, но и выступают в качестве инструмента для сравнительного исследования.

В настоящее время активно внедряется в экспертную практику группа новых общенаучных методов – *кибернетических*. На этих методах основаны новые информационные технологии, которые позволяют осуществлять поиск и автоматическую обработку информации в различных базах данных и компьютерное моделирование.

Классификация методов третьего уровня в литературе по судебной экспертизе представлена тремя основными точками зрения и соответственно тремя системами.

В системе, предложенной А.И. Винбергом и А.Р. Шляховым, методы этого уровня названы *частными методами судебной экспертизы*. Это инструментальные и иные вспомогательные технические методы, применяемые либо в одной, либо в нескольких науках. По классификации А.И. Винберга и А.Р. Шляхова, данные методы подразделяются в соответствии с их общим научно-техническим назначением и получаемыми результатами на 12 классов: измерительные, микроскопические, фотографические, физико-технические, спектральные, рентгенографические, хроматографические, электрохимические (физико-химические), аналитико-химические, радиационные, математические, электронно-вычислительные. Все перечисленные классы методов характеризуются своими принципами и набором технических средств.

Е.Р. Россинская называет методы третьего уровня *специальными методами частных наук*. Это современные методы экспертного исследования, основанные на интеграции новых технологий, использовании сложных приборных комплексов, компьютерной техники, и включают в себя характерные черты одного или нескольких общенаучных методов исследования. Однако их сочетание бывает настолько своеобразным, а реализация настолько опосредствованной, что невозможно отнести подобный метод к какому-то общенаучному.

В криминалистике под специальными методами понимают такие методы, применение которых ограничено одной или несколькими науками. Они применяются для изучения морфологических и субстанциональных свойств объектов исследования.

Е.Р. Россинская методы этого уровня также называет *общеекспертными методами исследования вещественных доказательств* и предлагает следующую их систему: методы анализа изображений,

морфологического анализа, анализа состава вещественных доказательств, анализа структуры вещественных доказательств, анализа физических, химических и других свойств.

Т.В. Аверьянова соглашается, что методы третьего уровня – *частнонаучные методы* – аналогичны категории специальных методов. Иной является сфера применения частнонаучных методов – это экспертиза какого-либо одного рода или вида или несколько близких по характеру используемых специальных знаний.

Таким образом, частные, частнонаучные, специальные методы частных наук, общеекспертные методы – это методы, применяемые либо в одной конкретной области научного знания, либо в нескольких науках и, как правило, для изучения морфологических и субстанциональных свойств объектов.

В группе методов четвертого уровня под *частноэкспертными методами* (предложены Е.Р. Россинской), *специальными (монообъектными) методами* (предложены Т.В. Аверьяновой) понимают методы, разрабатываемые или приспособляемые для исследования конкретного, единичного объекта или применяемые только в экспертизе данного рода, например акустический метод, используемый только при производстве фоноскопической экспертизы.

По источнику происхождения и степени приспособленности к нуждам уголовного судопроизводства методы разделяют на три группы:

заимствованные из других областей науки и техники и применяемые в непреобразованном виде;

заимствованные из других областей науки и техники, но преобразованные, приспособленные для целей расследования и раскрытия преступлений (специальные приемы судебной фотографии, методы исследования документов в ультрафиолетовом и инфракрасном свете и т. д.);

разработанные специально для целей раскрытия и расследования преступлений (методы дактилоскопии, почерковедения и т. д.).

Классификацию методов **по областям наук**, из которых они заимствованы (физические, химические, биологические и т. д.), также можно отнести к классификации по источнику происхождения. Однако такая классификация очень условна, так как многие современные аналитические методы сформированы на основе интеграции различных областей знаний, например физико-химические, биохимические, биофизические методы. Кроме того, в такой классификации сложно определить место методам морфологического анализа, имеющим очень большое значение в экспертных исследованиях.

По целевому назначению и результатам (решаемым задачам) методы можно разделить на следующие группы:

- методы обнаружения следов или иных объектов и их фиксации;
- методы предварительного исследования объектов с целью установления их природы и выбора направления исследования;
- методы аналитического и сравнительного исследования объектов;
- методы оформления результатов исследования.

По характеру получаемой информации частные методы экспертного исследования можно разделить:

- на методы анализа изображений;
- методы морфологического анализа, т. е. изучения внешнего и внутреннего строения физических тел на макро-, микро- и ультрамикроровнях;
- методы анализа состава материалов и веществ;
- методы анализа структуры вещества;
- методы анализа отдельных свойств вещества (физических, химических, биологических и т. д.).

Классификация методов также возможна **по стадиям экспертного исследования**: подготовительной, аналитической, экспериментальной, сравнительной, синтезирующей. Комплекс методов, определенный для каждой из этих стадий, позволяет решать специфические экспертные задачи, однако это уже будет классификация скорее методик, а не методов.

Методы и средства исследования являются ядром экспертной методики. Метод или комплекс методов – лишь составляющая, хотя и основная, часть экспертной методики.

1.3. Специальные методы предварительного и экспертного исследований вещественных доказательств

В предварительных и экспертных исследованиях вещественных доказательств помимо общенаучных методов используются и специальные – общеэкспертные и частноэкспертные. Данные методы можно классифицировать по следующим основаниям:

- сохранность объекта исследования;
- природа явлений, лежащих в основе метода;
- характер получаемой информации (выявляемые свойства и признаки объектов).

К **неразрушающим методам** исследования вещественных доказательств относят такие, которые никак не влияют на объект и не требуют

для их реализации пробоподготовки. На практике они применяются, как правило, при предварительных исследованиях

Предварительное исследование – это непроцессуальное применение специальных знаний для определения относимости обнаруженных следов и объектов к расследуемому событию, получения данных о механизме их образования, установления признаков следообразующего объекта и сбора сведений о возможных приметах, привычках и других данных, характеризующих преступника.

По итогам предварительного исследования оформляются справка, ориентировка, информационно-поисковые карточки, рапорты. Кроме того, после окончания исследования его результаты могут быть сообщены следователю и сотруднику уголовного розыска устно. Нередко результаты предварительных исследований являются основанием для назначения экспертиз.

Основная цель предварительного исследования – оперативное получение информации для поиска преступника по горячим следам. Кроме того, в процессе предварительных исследований определяют пригодность обнаруженных следов для идентификации, принимают необходимые меры для сохранности изымаемых объектов, установления их относимости к делу, определяют предметы, от которых необходимо отобрать образцы.

Методической основой предварительного исследования являются разработанные в соответствующих видах судебных экспертиз методы, способы исследования объектов различной природы, например определение вида наркотического средства растительного происхождения с помощью цветных капельных реакций.

Требования к методам предварительного исследования объектов:

- сохранность (неразрушаемость) вещественных доказательств;
- научность применяемых методик (методики должны быть научно обоснованными и апробированными на практике);
- эффективность;
- наглядность.

Применение методов и технических средств при предварительном исследовании объекта не должно ставить под сомнение возможность его последующего экспертного исследования. Поэтому при предварительном исследовании применяют неразрушающие методы исследования. Исключением являются случаи, когда от исследуемого объекта можно отделить какую-либо часть без изменения его свойств в целом, например при исследовании вязких, сыпучих, жидких или газообразных веществ. Результаты, полученные при предварительном исследовании вещественных доказательств, являются, как правило, вероятным выводом.

По природе явлений, лежащих в их основе, методы исследований подразделяют на химические, физические и физико-химические. Физические и физико-химические методы объединяют под общим названием инструментальные. В инструментальных методах можно выделить следующие группы:

- микроскопические методы (световая и электронная микроскопия);
- методы атомного спектрального анализа (атомно-абсорбционный, атомно-эмиссионный анализ);

- методы молекулярного спектрального анализа (спектроскопия (спектрофотометрия) в видимой, ультрафиолетовой, инфракрасной областях, комбинационного рассеяния, люминесценция, радиоспектроскопия);

- масс-спектрометрические методы;
- рентгеноспектральные методы (электронно-зондовый микроанализ, рентгенофлуоресцентная спектроскопия);
- рентгенографические методы (рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализ);

- разделительные методы и т. д.

Деление методов на химические, физические и физико-химические достаточно условно, так как в настоящее время появились высокоэффективные приборы, сочетающие в себе возможности нескольких методов и позволяющие расширить круг решаемых экспертных задач.

Классификация методов по природе явлений, лежащих в их основе, имеет значение для комплектования экспертных лабораторий современными приборами с целью оптимального их использования.

К методам, классифицируемым по природе информации об исследуемом объекте, относятся:

- методы анализа изображений;
- методы морфологического анализа;
- методы анализа состава;
- методы анализа структуры;
- методы изучения физических, химических и других свойств.

Методы анализа изображений используются для исследования традиционных криминалистических объектов – следов человека, орудий взлома, инструментов, транспортных средств, а также документов, кино-, фото- и видеоматериалов и пр. В основе этих методов лежат выявление признаков, их сравнение, диагностика свойств оригинала по его изображению. Но если ранее анализ изображения в традиционных криминалистических экспертизах проводился визуально или с помощью увеличительных приборов, то сейчас используются математические методы анализа изображений вместе с компьютерными технологиями. Примером могут служить современные автоматизированные идентификационные дактилоскопические системы.

Экспертное исследование как микро-, так и макрообъектов, как правило, начинается с проведения **морфологического анализа конкретных физических тел**. Это могут быть осколки стекла, пластмассы, текстильные волокна, фрагменты металла, трасологические следы, следы травления документов и т. д.

Под морфологией понимают внешнее строение объекта, а также форму, размеры и взаимное расположение (топография) образующих его структурных элементов (части целого, включения, деформации, дефекты и т. п.) на поверхности и в объеме, возникающих при изготовлении, существовании и взаимодействии объекта.

В исследованиях морфологических признаков объектов применяют методы оптической и электронной микроскопии. Методы микроскопии могут быть качественными, т. е. давать информацию об особенностях строения поверхности, о цвете и состоянии наблюдаемого объекта, или количественными: методы измерения размера микрочастиц, дефектов поверхности и т. д.

Состав исследуемого объекта – это элементный, молекулярный, (в том числе структурно-групповой), фазовый и изотопный. В зависимости от того, какой именно компонент необходимо определить, различают элементный, молекулярный (в том числе структурно-групповой и функциональный), фазовый и изотопный анализ.

Элементный анализ устанавливает качественное и количественное содержание химических элементов в образце. К наиболее распространенным в экспертных учреждениях методам элементного анализа относятся атомная спектроскопия и рентгеноспектральный анализ.

Молекулярный анализ определяет молекулярный состав исследуемого вещества – качественное и количественное содержание индивидуальных химических соединений, присутствующих в исследуемом веществе или материале.

Методы, традиционно используемые для определения состава и структуры молекул, делятся по природе явлений, лежащих в их основе, на следующие группы:

- методы молекулярной спектроскопии,
- масс-спектрометрические методы;
- рентгенографические методы;
- хроматографические методы.

Иногда в судебно-экспертных исследованиях решить задачу разделения смесей веществ на индивидуальные и анализировать эти соединения невозможно, и тогда определяют группы соединений (групповой состав объекта) с близкими физико-химическими свойствами, или класс (*структурно-групповой состав*), к которому принад-

лежит вещество. Например, групповой состав масел нефти характеризует их по содержанию парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов, а структурно-групповой состав характеризует содержание непредельных углеводородов в нефтяных фракциях.

В некоторых исследованиях в объекте можно определить только наличие тех или иных функциональных групп. Для их определения применяют методы *функционального анализа*, которые идентифицируют не всю молекулу, а только реакционноспособные группы атомов (или отдельные атомы) в соединениях. Функциональный анализ применяется, как правило, для определения органических соединений. В структурно-групповом и функциональном анализе используют те же методы, что и при определении состава и структуры молекул.

Фазовый анализ устанавливает фазовый состав объекта.

Фазовый состав – это качественное и количественное содержание фаз в исследуемом объекте. Фаза – однородная часть гетерогенной системы. Это более общее понятие, чем индивидуальное вещество (вещество может существовать в виде различных фаз – агрегатных состояний, а фаза может содержать несколько химических соединений в растворе). Гомогенный объект представляет собой одну фазу (отсутствует внутренняя граница раздела), но может содержать несколько химических соединений; гетерогенный объект содержит как минимум две фазы (вода и хлороформ не смешиваются и образуют две фазы). Во многих случаях одно вещество может существовать в виде различных фаз, например агрегатных состояний (вода в равновесии со льдом – двухфазная система) или полиморфных модификаций. Полиморфизм – способность некоторых твердых веществ и жидких кристаллов существовать в двух или нескольких формах с различной кристаллической структурой и свойствами. Такие формы называют полиморфными модификациями. Например, алмаз и графит отличаются упаковкой молекул: алмаз – решетка – трехмерная сетка жестких ковалентных связей между тетраэдрическими углеродными атомами, а у графита плоские макромолекулы имеют гексагональную структуру и напоминают соты, они расположены в графите слоями и связаны между собой слабыми силами, поэтому графит в отличие от алмаза обладает небольшой твердостью.

Фазовый анализ можно провести химическими или электрохимическими методами, избирательно растворяя одну форму нужного компонента. Также применяют рентгеноструктурный метод.

В отдельных случаях проводят *изотопный анализ*, который определяет, изотопы какой массы, стабильные или радиоактивные входят в состав вещества. Методом исследования изотопов дифференцируют ректифицированный этиловый спирт, полученный синтетическим способом или из пищевого сырья.

Разновидностью молекулярного анализа является **структурный анализ**. Он определяет связи и геометрическое расположение количественно определенных и качественно различных или одинаковых структурных единиц в молекуле, т. е. это строение (пространственное расположение) входящих в вещество частиц (молекул, атомов).

Внутренняя структура твердого тела – это строение входящих в него частиц (атомов, молекул), имеющиеся в нем структурные дефекты и микровключения.

Для изучения структуры объекта в экспертных исследованиях применяют *металлографические* и *рентгенографические* (рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализ) *методы*.

С помощью металлографических методов устанавливают изменения в структуре металлов и твердых растворов, по которым в некоторых случаях можно судить о способе изготовления изделия, условиях его существования и разрушения.

С помощью рентгенографических методов в экспертной практике исследуются параметры кристаллической решетки и фазовый состав объектов. Рентгенографические методы устанавливают классификационную категорию кристаллических веществ неуставленной природы, взрывчатых веществ, металлов и сплавов; определяют фазовый состав наполнителей, пигментов, сиккативов лакокрасочных материалов, наполнителей и активных веществ синтетических наркотических средств и психотропных веществ, бумаги и содержащихся в ней минеральных веществ: талька, слюды и т. д.

В последнее время к методам анализа структуры относят исследование структуры данных в судебной компьютерно-технической и судебно-экономических экспертизах.

Методы исследования отдельных свойств объектов весьма разнообразны. Например, при исследовании почв определяется их кислотность, взрывчатых веществ – температура вспышки, уничтоженных или измененных маркировочных обозначений – магнитная проницаемость металла.

1.4. Понятие методики судебной экспертизы.

Виды экспертных методик

В литературе дается множество определений понятия экспертной методики, в которых делается акцент на различные стороны этого понятия.

Определение экспертной методики дано в работах таких ученых, как А.Р. Шляхов, А.И. Винберг, В.П. Колмаков, Д.Я. Мирский, В.Ф. Ор-

лова, В.С. Митричев, Т.В. Аверьянова, Е.Р. Россинская, и некоторых других авторов.

В «Словаре основных терминов судебных экспертиз» под методикой судебной экспертизы понимается система методов (приемов, технических средств), применяемых при изучении объектов судебной экспертизы для установления фактов, относящихся к предмету определенного рода, вида и подвида судебной экспертизы. В данном определении не указывается об упорядоченных, последовательных методах решения экспертной задачи. Т.В. Аверьянова предлагает следующее **определение экспертной методики**: это система предписаний (категорических или альтернативных) по выбору и применению в определенной последовательности и в определенных существующих или создаваемых условиях методов и средств решения экспертной задачи. Характер методики – категорический или альтернативный, предоставляющий эксперту возможность выбора, – зависит от существа избираемых методов и средств. В содержание методики могут входить и ожидаемые результаты или их варианты. В последнем случае входят и рекомендации по оценке значения каждого варианта.

Содержащиеся в программе действий предписания могут касаться и условий использования методов и средств, поскольку от этого может зависеть результативность методики.

Экспертная методика ориентирована на решение экспертной задачи, а не просто на исследование объектов экспертизы. Поэтому методика экспертного исследования специфична для каждого рода экспертизы, что обусловлено природой изучаемых объектов и вопросами, которые приходится решать экспертам конкретной специальности.

Таким образом, любая методика экспертизы – это программа использования комплекса методов, приемов и технических средств, применяемых в определенной последовательности для решения экспертных задач.

В «Основах судебной экспертизы» под редакцией Ю.Г. Корухова по степени общности выделяются два вида экспертных методик – типовая и конкретная (частная), а в работах Т.В. Аверьяновой и Е.Р. Россинской три вида – родовая (видовая), типовая и конкретная (частная).

Родовая (видовая) экспертная методика представляет собой совокупность средств и способов проведения экспертиз данного рода (вида). В методике указывается специфика содержания стадий процесса экспертного исследования, обусловленная особенностями предмета и объектов данной экспертизы, а также применяемые при производстве экспертиз данного рода (вида) методы и средства.

Типовая экспертная методика – выражение обобщенного опыта решения типовых экспертных задач. В определенных случаях эта методика может применяться экспертом без какой-либо адаптации, изменения, например типовая методика дактилоскопической идентификации лица, оставившего следы на месте происшествия.

В структуру типовой экспертной методики включены следующие элементы:

- указание о типичных для данного вида экспертизы объектах, которые обычно содержатся уже в названии методики (например, методика исследования наркотических средств, получаемых из растения мак; методика исследования подписей);

- указание о методах и средствах исследования;

- предписания, касающиеся последовательности использования методов и средств;

- предписания, относящиеся к условиям, процедурам применения, методов, средств и методики;

- описание возможных результатов применения методов и средств и характеристика этих результатов в аспекте экспертной задачи.

Типовые методики обычно излагаются в методических рекомендациях, подготавливаемых и издаваемых ведущими судебно-экспертными учреждениями.

Для того чтобы экспертная методика получила статус типовой, она должна пройти этапы апробации и внедрения.

Конкретная (частная) методика – способ решения конкретной экспертной задачи, являющийся результатом приспособления, модификации типовой методики либо плодом творческого подхода эксперта к решению экспертной задачи. Примером может быть методика выявления залитого или заштрихованного текста на документе.

Конкретная методика как результат деятельности эксперта может возникнуть в случаях:

- реализации экспертом своего личного опыта для решения какой-либо новой, впервые возникшей в практике экспертной задачи либо в результате эксперимента, проведенного им в процессе данной экспертизы;

- проявления экспертом творческого подхода – усовершенствования стандартного прибора, дополнения общепринятой методики оригинальным приемом и т. п.;

- решения задачи в полном объеме на основе созданной для данного исследования экспертной методики путем синтеза данных и методов различных наук (чаще всего такие ситуации возникают в период появления и становления новых родов и видов экспертиз).

Понятие **комплексной экспертной методики** употребляется в двух значениях: в смысле включения в экспертную методику комплекса методов исследования и как методика проведения комплексной экспертизы. В первом случае это понятие не несет никакой смысловой нагрузки, ибо любая методика может содержать указания на применение как одного, так и нескольких однородных или разнородных методов, которые применяются в комплексе. Во втором случае мы имеем дело фактически не с экспертной методикой, а с методикой организации и проведения комплексной экспертизы, т. е. с указаниями по решению процессуальных и организационных вопросов этой разновидности экспертной деятельности.

Термином «экспертная методика» обозначают главным образом программы решения экспертных задач. В то же время можно, отвлекаясь от рода или вида экспертизы, говорить о методике экспертного исследования вообще.

Общая методика экспертного исследования включает следующие *этапы*:

- анализ исходных данных;
- выдвижение версий;
- построение или выбор методики;
- исследование;
- оценка результатов исследования;
- формулирование вывода.

1.5. Правовые основания применения методов и средств судебной экспертизы

Под правовыми основаниями применения методов и средств в судебной экспертизе следует понимать дозволенность их применения с точки зрения норм права, т. е. их правомерность, соответствие духу, букве закона, а также целям, принципам правосудия.

Применение методов и средств судебной экспертизы в работе с судебными доказательствами в Республике Беларусь регламентируется действующим законодательством, а именно: Конституцией Республики Беларусь, Уголовно-процессуальным кодексом Республики Беларусь, Гражданским процессуальным кодексом Республики Беларусь, Процессуально-исполнительным кодексом Республики Беларусь об административных правонарушениях, Законом от 15 июля 2015 г. № 293-З «О Государственном комитете судебных экспертиз Республики Беларусь», Указами Президента Республики Беларусь от 14 сентября 2003 г. № 407 «О некоторых мерах по совершенствованию судебно-эксперт-

ной деятельности», от 1 сентября 2010 г. № 450 «О лицензировании отдельных видов деятельности», от 1 июля 2013 г. № 292 «Вопросы Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь», нормативными правовыми актами Государственного комитета Республики Беларусь.

Субъектами применения методов и средств судебной экспертизы являются эксперты Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь.

Закон не дает исчерпывающего перечня средств и методов криминалистической техники, применяемых в процессе расследования преступлений и судебного разбирательства. Это невозможно как в силу обширности этого перечня, так и потому, что криминалистическая техника постоянно развивается, а круг объектов, могущих приобрести значение вещественных доказательств по делу, растет.

Закрепление в законе перечня методов, допустимых при производстве экспертных исследований, неизбежно тормозило бы разработку новых экспертных методик, так как, по существу, исключало бы возможность использования новейших достижений науки и техники в экспертной практике. Ведь путь законодательного закрепления возможности использования нового метода был бы достаточно долгим.

Порядок применения методов и средств и результаты исследований в соответствии со ст. 236 УПК, гл. 3 «Порядок производства судебных экспертиз» и гл. 4 «Заключение эксперта» Инструкции о порядке производства судебных экспертиз и проведения исследований в Государственном комитете судебных экспертиз подробно излагаются в заключении эксперта. Это необходимо для правильной оценки заключения эксперта и обеспечения возможности проведения повторного исследования с целью проверки полученных результатов.

1.6. Классификация технико-криминалистических средств

Технико-криминалистические средства – это технические устройства и материалы, которые пригодны для решения задач, связанных с раскрытием, расследованием и предупреждением преступлений.

В криминалистической литературе термин «технико-криминалистические средства» толкуется двояко. К ним кроме оборудования и материалов относят и специальные методы анализа и работы с различного рода объектами – вещественными доказательствами, следами, – приемы обнаружения, фиксации и изъятия материальных образований, экспертные методики их исследования, информационно-поисковые и регистрационно-информационные системы и т. д. Однако Р.С. Белкин

рекомендовал в целях унификации терминологии ограничиться техническими устройствами и материалами.

Кроме того, на практике понятие «техничко-криминалистические средства» иногда отождествляют с понятием «научно-технические средства и методы», («научные методы и технические средства», «научные и технические средства»). Эти понятия не равнозначны. Понятие «научно-технические средства и методы» шире, чем «техничко-криминалистические средства и методы», последние охватывают только те средства и методы, используемые в борьбе с преступностью, которые специально созданы или приспособлены для решения задач, стоящих перед криминалистикой и судебной экспертизой.

Техничко-криминалистические средства классифицируют по таким основаниям, как возникновение (источник происхождения), вид и целевое назначение.

По возникновению техничко-криминалистические средства подразделяются на три группы:

средства, которые заимствованы из других областей науки и техники и применяются в непереработанном виде. Они приобретают криминалистический характер лишь в связи с целями и правовой основой их применения. Таковы, например, фотоаппараты, видео- и звукозаписывающая аппаратура общего назначения, металлоискатели, ряд микроскопов, спектрометры, хроматографы и другая поисковая и исследовательская техника;

средства, заимствованные из других областей знания, но переработанные, приспособленные для целей раскрытия и расследования преступлений (например, фотоустановки, приспособленные для фотографирования вещественных доказательств);

средства, специально разработанные для целей исследования и раскрытия преступлений. Таковы, например, сравнительные микроскопы, приборы для фоторазвертки поверхности пуль, пулеуловители, компьютеризированные рабочие места для составления композиционных портретов или дактилоскопической регистрации и прибор «След», новые следакопировальные пленки, йодные трубки, магнитные кисти, современные наборы для дактилоскопирования, прибор для выявления следов рук цианоакрилатом.

По виду различают приборы, аппаратуру и оборудование, инструменты и материалы, принадлежности, их комплекты. Комплектация криминалистических средств, как правило, осуществляется путем создания наборов универсального типа: следственный чемодан, оперативная сумка. Это компактные и сравнительно легкие наборы, включающие техничко-криминалистические средства нескольких функциональных

назначений: фотографическая аппаратура, принадлежности для вычерчивания плана места происшествия, порошки и химикаты для работы со следами, различные инструменты. Содержимое таких комплектов рассчитано на применение экспертом либо следователем или оперативным работником при производстве следственного (осмотр места происшествия, обыск) или иного действия. Создаются и специализированные наборы, рассчитанные на использование конкретным специалистом или сориентированные на определенные виды преступлений: экспертный чемодан, набор для работы с микрообъектами, чемодан прокурора-криминалиста, наборы для сотрудников ГАИ и т. д. Эти комплекты включают технические средства, позволяющие производить экспресс-анализы следов, документов, вещественных доказательств.

Особой разновидностью комплекта техничко-криминалистических средств можно назвать передвижные криминалистические лаборатории для производства экспертиз на месте происшествия. Разработаны и начали применяться также передвижные криминалистические вагоны-лаборатории, сориентированные на использование при расследовании крушений и аварий на железнодорожном транспорте.

По целевому назначению техничко-криминалистические средства подразделяют:

на средства обнаружения следов и объектов (следы рук, ног; металлические объекты, трупы, микрообъекты, следы человеческих выделений: мочи, спермы, слюны);

средства фиксации следов и объектов;

средства изъятия следов и объектов;

средства криминалистического исследования следов и объектов;

средства учета и розыска преступников;

средства организации труда следователя, эксперта: оргтехника, транспортные средства и т. д.;

средства, обеспечивающие личную безопасность и предупреждение преступлений: пуленепробиваемые жилеты, электрошокеры, охранный сигнализация, средства видеонаблюдения.

Условно в зависимости **от субъекта применения**, техничко-криминалистические средства можно подразделить на применяемые следователем и судом на стадии расследования преступлений, органом дознания в процессе проведения оперативно-розыскных мероприятий, судебными экспертами при производстве экспертных исследований вещественных доказательств.

Основные направления совершенствования техничко-криминалистических средств:

улучшение свойств традиционных и разработка принципиально новых материалов, внедрение их в криминалистическую практику:

внедрение новых полимерных слепочных масс, используемых для точного копирования мельчайших деталей рельефа; внедрение порошков для выявления следов пальцев рук, обладающих набором заданных свойств: способностью люминесцировать, лучшей адгезией с потожировыми выделениями, магнитными свойствами и т. д., новых веществ для выявления следов пальцев рук: цианоакрилатных эфиров, DFO (1,8-Diazafluoren-9-One), тетраоксида рутения и т. д.;

внедрение в криминалистическую практику таких достижений современной науки, как цифровая фотосъемка и видеозапись, голография, компьютерные технологии;

внедрение сложных аналитических приборов, работа которых основана на биологических, физико-химических, электронных процессах.

Разрабатывая или заимствуя технико-криминалистические средства, криминалисты стремятся, чтобы с их помощью можно было решать несколько задач. Такая тенденция к универсальности вполне оправдана, однако вследствие этого не всегда удается точно отнести тот или иной прибор или приспособление к определенной группе. Критерием здесь служит выполнение функции, для которой предназначено конкретное средство, поэтому наибольшую практическую ценность имеет классификация технико-криминалистических средств по их целевому назначению.

1.7. Техничко-криминалистические средства и методы, применяемые при собирании вещественных доказательств

Процесс собирания вещественных доказательств включает их обнаружение, фиксацию и изъятие.

Техничко-криминалистические **средства, используемые для обнаружения следов и других объектов**, весьма разнообразны.

Средства освещения – это разнообразные приборы, устройства позволяющие создать общее рассеянное, направленное, моно- и полихроматическое освещение. В качестве источников света используются разнообразные конструкции осветителей, бытовые фонарики, электронные фотовспышки и другая осветительная аппаратура, важнейшими частями которой являются рассеиватели, отражатели, светофильтры, защитные экраны, влияющие на направление, интенсивность, волновой диапазон и другие характеристики светового потока.

К специальным источникам света относятся ультрафиолетовые осветители, позволяющие обнаружить слабовидимые или невидимые следы некоторых химических веществ (нефтепродуктов, клея и т. д.),

биологических материалов (крови, спермы, пота и других выделений человека). Под действием ультрафиолетовых лучей некоторые из этих объектов люминесцируют или сильно отличаются по оттенку от фона. Однако следует помнить, что действие ультрафиолета должно быть кратковременным (не более 5 с), поскольку он может вызвать необратимые изменения объектов биологического происхождения. Источником ультрафиолетового света является осветитель FAL2000 (рис. 1). Он работает в следующем диапазоне излучения: белый свет, 365, 415, 450, 470, 505 и 530 нм.



Рис. 1. Источник экспертного света FAL2000

Для выявления следов в лабораториях применяется источник экспертного света PL500 (рис. 2), имеющий следующий диапазон излучения: белый свет, 350, 415, 450, 505, 530, 555, 590, 620 и 650 нм.



Рис. 2. Источник экспертного света PL500

Переносной источник света Bluemaxx (рис. 3), выявляет флуоресцирующие вещества, например DFO, люминол, может определить местонахождение физиологических жидкостей на месте происшествия.



Рис. 3. Переносной источник света Bluemaxx

Электронно-оптический преобразователь (ЭОП) позволяет выявить частицы копоти, краски, металла, следы выстрела и т. д. Это вакуумный фотоэлектронный прибор для преобразования невидимого глазом изображения объекта (в инфракрасном, ультрафиолетовом или рентгеновском спектре) в видимое либо для усиления яркости видимого изображения. В ЭОПе оптическое или рентгеновское изображение преобразуется с помощью фотокатода в электронное, а электронное – в видимое, получаемое на катодолюминесцентном экране.

Для обнаружения различных следов и исследования объектов применяются приборы, в которых есть источники и ультрафиолетового и инфракрасного излучения, например прибор «Регула» (рис. 4), который широко используется в экспертной практике в судебной технической экспертизе документов.



Рис. 4. Видеоспектральный компаратор «Регула-4305»

Оптические приборы – это устройства, позволяющие расширить диапазон чувствительности глаза. К ним относятся прежде всего всевозможные лупы: складные, штативные, с подсветкой, измерительные, дактилоскопические и т. д. Значительно реже при производстве след-

ственных действий используются микроскопы. Как правило, они применяются на стадии исследования вещественных доказательств.

Невидимые и слабовидимые следы различного происхождения выявляются с помощью разнообразных **веществ**.

Следы рук выявляются темными и светлыми магнитными и немагнитными мелкодисперсными порошками (окись меди, окись свинца, графит и т. д.), веществами, люминесцирующими в ультрафиолетовых лучах; растворами веществ (например, нингидрин в ацетоне, раствор азотнокислого серебра); парами веществ (например, парами йода, цианоакрилата). Данные вещества напыляются на объект в специальных камерах, наносятся с помощью дактилоскопических магнитных и немагнитных специальных кистей различных конструкций, аэрозольных распылителей. Визуализация невидимых следов рук производится также при воздействии на них лазерного излучения (которое возбуждает флуоресценцию потожирового вещества, образующего след) или путем напыления на предмет-носитель в вакууме тонких пленок тяжелых металлов. Например, для выявления следов рук на бумаге, картоне, сыром дереве, гипсовых стенах, штукатурке, а также для контрастирования следов, нанесенных кровью на любых поверхностях, применяют мелкодисперсный реагент DFO. Он вступает в реакцию с аминокислотами, содержащимися в следах рук, и окрашивает папиллярные линии в светло-розовый или розово-пурпурный цвет. Современным криминалистическим методом выявления следов рук на непористых поверхностях является выявление следов с помощью цианоакрилатных эфиров. Для дактилоскопических исследований используются летучие композиции суперклея (фирменное название Hard Evidence) в жидком состоянии и концентрированный цианоакрилатный эфир в виде геля в пластиковой упаковке (конверте) (рис. 5).



Рис. 5. Цианоакрилатный эфир в виде геля в пластиковой упаковке

Для работы с DFO и цианоакрилатным эфиром применяют специальные камеры (рис. 6).



Рис. 6. Вакуумный компрессор и большая камера для окулирования цианоакрилатным эфиром

Следы биологического происхождения выявляют с применением таких веществ, как бензидин, реактив Воскобойникова, перекись водорода. В настоящее время в практической деятельности для обнаружения крови широко используют диагностический тест «Гемофан». Предварительной пробой с использованием «Гемофана» следы крови можно обнаружить практически во всех случаях, даже после попытки тщательного их уничтожения. Проба отличается высокой чувствительностью: есть данные о положительных результатах при исследовании следов 14-летней давности. «Гемофан» – это диагностические полоски для исследования мочи на кровь и гемоглобин. Изготовитель – фирма Lachema (Чехия), упаковка содержит 50 полосок. В связи с тем, что срок годности «Гемофана» всего один год, его лучше приобретать на местах через аптекоуправление. Следы крови в труднодоступных местах, больших помещениях, подвалах, на чердаках выявляют опрыскиванием подозрительных поверхностей люминолом, вызывающим при попадании на кровь кратковременное свечение в ультрафиолетовом излучении. Помещение при этом затемняют. Наличие следов спермы устанавливают с помощью специальной подложки, пропитанной реагентом «Фосфотест». При положительной реакции через 20 с подложка окрашивается в фиолетовый цвет.

Для обнаружения следов и предметов используются различные **устройства, приборы, установки**. Это магнитные искатели и подъемники, портативные рентгеновские и голографические установки, детекторы, например детектор фальшивых банкнот. Для обнаружения металлических объектов используются индукционные металлоискатели армейского образца и специально изготовленные для криминалистических целей магнитные искатели-подъемники (МИП «Гамма»). Их недостатком является одинаковое реагирование на черные и цветные металлы. Поиск тайников производится путем простукивания молотками

с использованием щупов, буров, металлоискателей. Для просвечивания деревянных стен, мебели, других преград используются переносные рентгеновские установки, кирпичных и железобетонных преград – радиоизотопные отражательные толщинометры.

Для обнаружения микрообъектов (микрочастицы, микроследы) используются лупы с подсветкой, микроскопы, ультрафиолетовые осветители, ЭОПы. Металлические микрочастицы обнаруживают с помощью небольших постоянных магнитов.

Маркировка изделий (главным образом частей автотранспортных средств) проверяется с использованием наборов зеркал на длинных ручках с подсветкой, ультразвуковых дефектоскопов и толщиномеров, датчиков, фиксирующих изменение магнитной проницаемости металла в месте перебивки номера. Примером является магнитооптический прибор «Регула» для идентификации и выявления фальсификации номеров автотранспортных средств (рис. 7).



Рис. 7. Магнитооптический прибор «Регула-7505»

Трупы и их части обнаруживают приборами типа «Поиск», принцип действия которых основан на измерении концентрации в почве и в воздухе сероводорода, возрастающей вблизи трупа. С этой целью используют также электрошупы, поскольку электропроводность грунта вблизи трупа значительно возрастает. В водоемах их поиск осуществляют с помощью крючьев и специальных тралов.

В настоящее время ведутся работы по изготовлению видеointра-скопических приборов, дающих возможность воспринимать на экране изображения объектов, находящихся в полужидких, сыпучих и твердых средах, на основе ультразвука, радиоактивного излучения и т. д.

При расследовании преступлений часто возникает потребность в электроизмерительных приборах (тестеры, измерительные клещи, ин-

дикаторы напряжения), например при расследовании уголовных дел, связанных с авариями, пожарами и взрывами. Используются также газоанализаторы, специальные сита для просеивания пожарного мусора. Дефекты в металлоконструкциях выявляют с помощью различных дефектоскопов и переносных рентгеновских дифрактометров.

Цель криминалистической **фиксации** – как можно точнее, объективнее и нагляднее запечатлеть, закрепить факты, события, материальные следы преступления и другие объекты, необходимые для установления истины по уголовному делу.

Используются различные **формы фиксации**:

вербальная – протоколирование, звукозапись;

графическая – графическое изображение (схематические и масштабные планы, чертежи, кроки, рисунки, в том числе рисованные портреты);

предметная – изъятие самого предмета, изготовление материальных моделей (реконструкция, в том числе макетирование, копирование, получение слепков и оттисков);

наглядно-образная – фотографирование (в видимых и невидимых лучах), видеозапись, киносъемка.

Возможны различные комбинации этих форм фиксации.

Фиксация может быть направлена как на сохранение самого объекта (консервирование), так и на запечатление определенных его сторон, свойств и качеств.

Консервирование осуществляется путем укрепления структуры вещества объекта созданием специальной среды или приспособления, куда помещают объект. Так, сохранность обугленных или ветхих документов обеспечивается помещением их между двух стекол, а следов обуви на песке – обработкой их специальным лаком. В специальную среду – морозильную камеру – помещают скоропортящиеся объекты. Выявленный с помощью порошков след пальца обычно изымается на специальную дактилоскопическую пленку. Это искусственное приспособление отличается от обычных упаковочных средств тем, что оно становится неотъемлемой частью фиксируемого объекта.

Запечатлевающие способы фиксации – это составление планов и схем, изготовление копий с помощью различных веществ, фотосъемка, видеозапись, рисование.

В зависимости от характера изымаемого объекта различают **средства изъятия** твердых объектов, сыпучих, жидких и газообразных веществ, макро- и микрообъектов.

Простейший набор инструментов для изъятия твердых объектов включает стамески, стеклорез, пилы, молотки, отвертки, пассатижи и пр. В необходимых случаях могут использоваться аппараты для газокислородной резки и электросварки.

Микрообъекты, как и другие следы, предпочтительно изымать вместе с объектом-носителем, в обязательном порядке фиксируя в протоколе осмотра места происшествия или другого следственного действия, на схемах и фотоснимках конкретные участки объекта-носителя, с которого они изымаются, поскольку впоследствии это может иметь решающее значение, например, при установлении факта контактного взаимодействия. Для изъятия микрообъектов применяются пленки с химически неактивным липким слоем, портативные пылесосы, магниты, пинцеты, наэлектризованные стеклянные или эбонитовые палочки, капилляры.

Следы пальцев рук и босых ног, выявленные с помощью порошков, изымаются специальными дактилоскопическими пленками.

Для изготовления объемных копий изымаемых следов используется широкий круг слепочных материалов, подразделяемых на термопластичные (пластилин, парафин, воск, легкоплавкие металлы) и жидкие (гипс, сизласт, пасты К, СКТН, латекс и т. д.) компаунды. Объемные копии весьма полно передают форму, размеры и взаимное расположение следов, которые невозможно изъять в натуре. Следы орудий взлома изымают при помощи слепочных полимерных масс, таких, например, как «Микросил». Объемные следы обуви, транспортных средств изымают при помощи гипса.

Пылевые следы обуви, ног с ковров, тканей, линолеума и др. изымают при помощи прибора «След».

Запах изымают на лоскуты хлопчатобумажной байки, фланели или стерильные марлевые салфетки (примерно 10×15 см), упаковывают в три-четыре слоя бытовой алюминиевой фольги или в чистые стеклянные банки с металлическими или стеклянными крышками.

Все изъятые объекты должны быть соответствующим образом упакованы и доставлены к месту исследования или хранения. При этом упаковка должна исключать подмену, потерю и уничтожение, загрязнение посторонними веществами при транспортировке и хранении и сохранить объект без изменений внешних признаков и субстанциональных свойств.

Технико-криминалистические средства, предназначенные для обнаружения, фиксации, изъятия вещественных доказательств, как пра-

вило, комплектуются в виде специальных наборов: оперативных сумок, следственных портфелей, оперативных и следственных чемоданов. Это могут быть универсальные наборы, предназначенные для осмотра места происшествия или обыска, или специализированные комплекты, например, для работы с запахowymi следами, микрообъектами, со следами рук, для осмотров по делам о пожарах, взрывах и пр.

Процессы обнаружения, изъятия и фиксации могут совпадать по времени. Например, с помощью магнита обнаруживают металлические объекты (предметы, опилки, стружка) и с его же помощью изымают эти объекты. Или след пальца, выявленный с помощью порошка, одновременно изымают на дактилоскопическую пленку и фиксируют этой пленкой. Таким образом, технико-криминалистические средства могут выполнять двойную функцию, поэтому деление их на средства обнаружения, фиксации и изъятия является в известной степени условным.

Глава 2

КРИМИНАЛИСТИЧЕСКАЯ МЕТРОЛОГИЯ, СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Основы метрологии: понятийный аппарат.

Значение метрологии в судебно-экспертной деятельности

Измерения – один из важнейших путей познания человеком окружающего мира. Ни одна наука не может развиваться без измерений. В промышленности и экономике производятся миллиарды измерительных операций, результаты которых используются для обеспечения анализа информационных потоков, качества выпускаемой продукции, безопасной работы транспорта и т. д. Практически нет ни одной сферы деятельности человека, где бы не использовались результаты измерений, испытаний и контроля. Судебно-экспертная деятельность не стала исключением. В ч. 2 ст. 204 Уголовно-процессуального кодекса Республики Беларусь указывается на необходимость использования при осмотре места происшествия научно-технических средств, выполнения измерений, составления планов и схем, которые также строятся на основе измерений. Измерения проводят при производстве практически всех следственных действий. При осмотре места происшествия определяются размеры объектов, расстояние между предметами обстановки, скорость движения субъектов и объектов (человека, транспортного средства, пули), тормозной путь транспортного средства, размеры составных частей предметов, масса различных объектов (например, дроби) и т. д. Также нет ни одного вида экспертиз, при проведении которых не осуществлялись бы различного рода измерения. С помощью измерений устанавливаются количественные характеристики различных свойств объектов (масса, твердость, температура плавления и т. д.), выявляются пространственные, временные (линейные размеры, время и т. д.) и иные характеристики и соотношения между ними. Количественные характеристики играют такую же важную роль, что и качественные, описательные. Это обязывает оснащать судебно-экспертные подразделения новой современной техникой, среди которой особое место занимают средства измерений. Судебный эксперт должен владеть знаниями, умениями и навыками в области метрологии, стандартизации и сертификации.

Метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Единство измерений – состояние измерительного процесса, при котором результаты всех измерений выражаются в одних и тех же законченных единицах измерения и оценка их точности обеспечивается с гарантированной доверительной вероятностью.

Единица измерений – *единица физической величины* – это физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное единице.

Единство измерений является важным понятием в метрологии, оно дает возможность сопоставления результатов различных измерений, которые были проведены в различных районах, в различные временные отрезки, а также с применением разнообразных методов и средств измерения.

В зависимости от целей выделяют три раздела метрологии:

Теоретическая (фундаментальная) метрология – раздел метрологии, предметом которого является разработка ее фундаментальных основ. Это разработка основных понятий и терминов метрологии, учения о физических величинах, методологии измерений; теории воспроизведения единиц физических величин и передачи их размеров; теории построения средств измерений (средств измерений и методов измерений); теории точности 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.

Работы по обеспечению единства измерений в Республике Беларусь осуществляются на основе Закона от 5 сентября 1995 г. № 3848-ХІІ «Об обеспечении единства измерений». Данный закон устанавливает основы законодательной метрологии и направлен на обеспечение единства измерений в Республике Беларусь, правовой защиты юридических и физических лиц от последствий неточных и неправильно выполненных измерений. Он регулирует отношения между государственными органами управления Республики Беларусь и субъектами хозяйствования по вопросам изготовления, использования, ремонта, продажи, импорта и проката средств измерений.

Нормативной базой государственной системы обеспечения единства измерений является комплекс нормативных документов, включающий в себя государственные стандарты и другие нормативные документы, определяющие порядок передачи размера единиц величин

предприятиям и организациям, организацию и порядок проведения испытаний, поверки и калибровки средств измерений.

Сфера законодательной метрологии распространяется и на измерения, выполняемые при проведении судебных экспертиз. Результаты измерений при выполнении судебных экспертиз должны быть получены с соблюдением действующих законов и нормативных технических документов, обеспечивающих единство измерений. Они могут быть признаны юридически значимыми только в тех случаях, если выражены в единицах физических величин, принятых к применению на территории Республики Беларусь с указанием границ погрешности измерений и вероятности того, что эта погрешность не выходит за установленные границы.

Практическая метрология – раздел метрологии, предметом которого являются вопросы практического применения разработок теретической метрологии и положений законодательной метрологии.

Таким образом, можно выделить следующие направления метрологии:

- общая теория измерений;
- системы единиц физических величин;
- методы и средства измерений;
- методы определения точности измерений;
- основы обеспечения единства измерений, основы единообразия средств измерения;
- эталонные и образцовые средства измерений;
- методы передачи размеров единиц от образцов средств измерения и от эталонов рабочим средствам измерения.

Основными объектами метрологии являются:

- единицы измерения физических величин;
- средства измерений физических величин;
- методики выполнения измерений физических величин и пр.

Основные задачи метрологии:

установление единиц измерения и воспроизведение их в виде конкретных эталонов с максимально возможной (метрологической) точностью;

разработка методов передачи верных значений единиц от эталонов к рабочим мерам и измерительным приборам;

разработка методов высокоточных измерений;

осуществление поверок мер и измерительных приборов, применяемых в науке и во всех отраслях народного хозяйства.

Государственный метрологический надзор – это деятельность по проверке соблюдения юридическими лицами, индивидуальными пред-

принимателями и иными физическими лицами требований законодательства Республики Беларусь об обеспечении единства измерений. Государственный метрологический надзор осуществляется за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, соблюдением метрологических правил и норм.

Государственный метрологический контроль включает:

утверждение типа средств измерений;

поверку средств измерений;

лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, поверке, продаже и прокату средств измерений.

Государственный метрологический надзор в Республике Беларусь осуществляет **метрологическая служба**, которую возглавляет *Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь (Госстандарт)*. В структуру Госстандарта входит свыше 50 организаций на территории республики. Головным научно-практическим центром является *Белорусский государственный институт метрологии (БелГИМ)*. БелГИМ занимается:

разработкой и изготовлением эталонов и стандартных образцов;

испытанием, метрологической аттестацией, поверкой, калибровкой средств измерений;

созданием и поддержанием эталонной базы республики;

проведением высокоточных измерений;

разработкой технических нормативных правовых актов;

испытанием и сертификацией продукции, услуг, персонала и систем управления;

исследованием в области метрологии;

стажировкой специалистов и обучением метрологов;

госнадзором за стандартами и средствами измерений.

В структуру Госстандарта также входит *Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации (БелГИСС)*, который является центральным государственным научно-практическим предприятием Госстандарта в области технического нормирования и стандартизации, оценки соответствия и систем менеджмента. Одним из основных направлений деятельности института является реализация положений законов о техническом нормировании, стандартизации и оценке соответствия положениям международных соглашений, которые направлены на обеспечение защиты жизни и здоровья человека, имущества и охраны окружающей среды, повышение конкурентоспособности продукции и услуг, устранение технических барьеров в торговле, рациональное использование ресурсов.

Таким образом, Госстандарт обеспечивает выработку и реализацию технической политики в области обеспечения единства измерений, осуществляет координацию деятельности и научно-методическое взаимодействие с метрологическими службами других органов государственного управления, зарубежными метрологическими службами. В соответствии с постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30 октября 2002 г. № 1504 «О сотрудничестве Республики Беларусь с международными организациями» Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь сотрудничает с такими организациями по стандартизации, метрологии, сертификации и аккредитации, как Международная организация законодательной метрологии (OIML), Международная организация по стандартизации (ISO), Международная электротехническая комиссия (IEC), Европейский комитет по стандартизации (CEN), Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации стран СНГ, Евро-Азиатское сотрудничество государственных метрологических учреждений (COOMET), Европейская организация по качеству (ЕОК) и др.

Стандартизация состоит в упорядочении решений, правил, методов и т. д. в целях их многократного использования. Более упрощенно стандартизацию можно определить как установление в государственном масштабе единых норм и требований, предъявляемых к материалам, изделиям, методам и методикам, приборам, производственным процессам и т. д.

Стандартизация осуществляется на разных уровнях:

международная стандартизация;

региональная стандартизация;

национальная стандартизация (государственная, отраслевая, административно-территориальная стандартизация).

В процессе стандартизации вырабатываются нормы, правила, требования, характеристики, касающиеся объекта стандартизации, оформляемые в виде нормативного документа (стандарта).

Стандарт – нормативный документ, разработанный на основе соглашения большинства заинтересованных сторон и утвержденный признанным органом (или предприятием), в котором устанавливаются общие принципы, характеристики, требования и методы, касающиеся определенных объектов стандартизации, направленные на упорядочение и оптимизацию работы в определенной области. Показателями стандартов являются характеристики объектов стандартизации, выраженные с помощью условных единиц, обозначений или понятий. Показатели могут быть даны в виде размеров, химического состава, физических свойств, эксплуатационных качеств, экономичности, надежности, долговечности.

Любая работа в сфере стандартизации начинается с анализа имеющегося массива информации и выделения основных, наиболее характерных признаков, в соответствии с которыми этот массив может быть систематизирован. Все стандарты должны быть четко сформулированы и не должны допускать двусмысленных трактовок.

К нормативным документам по стандартизации, действующим на территории Республики Беларусь, относятся:

государственные стандарты Республики Беларусь, государственные строительные нормы Республики Беларусь, государственные классификаторы технико-экономической информации Республики Беларусь;

отраслевые нормативные документы по стандартизации, стандарты предприятий и других субъектов хозяйствования, технические условия.

Примеры стандартов:

СТБ ГОСТ Р 51215–2002 «Оружие холодное. Термины и определения». Стандарт устанавливает термины и определения понятий в области холодного оружия. Распространяется на холодное оружие, а также на изделия хозяйственно-бытового назначения, конструктивно сходные с холодным оружием, но оружием не являющиеся. Термины, установленные стандартом, обязательны для применения во всех видах документации и литературы, относящихся к холодному оружию, входящих в сферу работ по стандартизации и (или) использующих результаты этой работы.

ГОСТ Р 51215–98 «Оружие холодное. Термины и определения» (Россия).

ГОСТ 28653–90 «Оружие стрелковое. Термины и определения» (региональный стандарт стран СНГ). Устанавливает термины и определения в области понятий стрелкового оружия. Не распространяется на сигнальное и строительное оружие.

Метод стандартизации – это совокупность средств достижения целей стандартизации.

Основными методами стандартизации являются:

систематизация – последовательное, научно обоснованное классифицирование и ранжирование конкретных объектов стандартизации, т. е. распределение предметов исследования в определенном порядке или последовательности, образующее систему, удобную для использования. Ранжирование – определение порядка согласно рангу, авторитету, респектабельности; способ оценки переменной, когда ее значению приписывается место в последовательности величин (ранг), определяемое при помощи порядковой шкалы. Примерами систематизации

являются различные виды классификаторов: международный классификатор товаров и услуг, предназначенный для регистрации товарных знаков, классификатор специальностей, классификатор средств измерений и т. д.;

типизация – разработка и утверждение типовых объектов или образцов. Типизируют конструкции, технологические нормы и правила документации. Типизация проводится с целью выделения общего признака для совокупности однородных объектов. Примером могут служить типовые методики судебных экспертиз;

унификация – рациональное сокращение числа типов объектов одинакового функционального назначения; приведение к единообразию, к единой форме или системе. Унификация может осуществляться до стандартизации, если ее результаты не оформляются стандартом. Но стандартизация изделий и их частей обязательно предполагает их унификацию;

классификация – расположение явлений, понятий, предметов или размеров по определенным, как правило, наиболее характерным для группы изделий одного назначения признакам. Например, классификация и характеристики моторных масел.

Для судебного разбирательства важную роль играет оценка достоверности методики экспертизы и результатов исследования. Проблема давно решена за рубежом путем сертификации и аккредитации экспертной деятельности.

Сертификация – процедура, осуществляемая органом по сертификации, подтверждения соответствия объектов независимо от изготовителя и потребителя требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров.

По результатам проведения лабораторных исследований и испытаний составляется акт о соответствии или несоответствия объекта исследования необходимым требованиям стандарта или технических условий. В случае соответствия объекта сертификации на основании акта выдается *сертификат соответствия* исследуемого объекта требуемым параметрам качества.

Сертификация выполняется как в обязательном порядке, так и на добровольной основе. В процедуре сертификации участвует три стороны: изготовитель или продавец продукции, ее покупатель или потребитель, не зависимый от первой и второй сторон орган.

Объектами сертификации являются: товары народного потребления, услуги, процессы, рабочие места, персонал системы качества и пр.

Система сертификации – совокупность участников сертификации, осуществляющих сертификацию по правилам, установленным в этой системе.

В условиях рыночной экономики производитель борется за конкурентоспособность своей продукции. В погоне за быстрой прибылью недобросовестные изготовители предлагают товар, способный нанести вред здоровью человека и окружающей среде.

Государство в лице законодательной власти устанавливает юридическую, административную и гражданскую ответственность за ввод в обращение недоброкачественной продукции, а также определяет основные обязательные требования к характеристикам продукции в целом и по отдельным ее параметрам. Например, постановление Госстандарта от 16 декабря 2008 г. № 60 устанавливает перечень продукции, услуг, персонала, подлежащих обязательной сертификации в Республике Беларусь. В перечень входят служебное, гражданское, спортивное, охотничье оружие (в том числе холодное), патроны и т. д. Все эти объекты исследуются судебными экспертами. Установлено, что сертификация холодного оружия производится в соответствии с «Криминалистическими требованиями к холодному оружию и изделиям, конструктивно сходным с таким оружием (код ТН ВЭД 9307 00 000)».

Аккредитация – официальное признание органом по аккредитации компетентности физического или юридического лица выполнять работы в определенной области оценки соответствия.

Актуальной проблемой для экспертных подразделений в Республике Беларусь остается создание для них системы аккредитации, особенно с учетом международных требований. Данная система включает все стороны деятельности учреждения, аккредитация экспертного учреждения будет означать полное соответствие экспертной деятельности всем требованиям, заключение эксперта будет приниматься судами как достоверное, в том числе в судах стран – членов ЕАЭС. В настоящее время вопросами аккредитации судебно-экспертных подразделений занимается Научно-практический центр Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь. По инициативе ГКЭС Республики Беларусь приказом Председателя Госстандарта от 11 марта 2015 г. № 22 в Республике Беларусь был создан национальный технический комитет по стандартизации «Судебно-экспертная деятельность и криминалистическая техника» (ТКВУ 34). Основной задачей ТКВУ 34 является разработка и обсуждение с целью выработки согласованных предложений проектов технических нормативных правовых актов (ТНПА) для обеспечения судебно-экспертной деятельности, а также разработки, производства и испытаний криминалистической техники, оборудования и других технических средств, включая специальное программное обеспечение. В рамках подготовки

к аккредитации судебно-экспертных подразделений разрабатывается технический нормативный правовой акт «Система обеспечения качества судебно-экспертной деятельности. Валидация (подтверждение пригодности) методик судебной экспертизы». Валидация – это подтверждение экспертизой и представление объективного доказательства того, что особые требования, предназначенные для конкретного применения, соблюдены, т. е. выполняются определенные требования с воспроизводимыми параметрами в процессе судебно-экспертного исследования. Актуальной задачей в области каждого рода экспертизы является систематизация (каталогизация) методик по видам и подвидам экспертных исследований в целях обеспечения научно-методического единообразия применяемых методик, облегчения доступа к ним всех заинтересованных лиц.

Таким образом, задачей метрологии в криминалистике и судебной экспертизе является обеспечение точности измерений разных параметров и свойств объектов исследования, стандартизация методик экспертного исследования для внедрения в экспертную практику более эффективных и надежных методов исследования. Н.А. Анчабадзе, Г.Г. Коновалов, А.В. Кочубей, В.П. Симаков ввели следующее определение: криминалистическая метрология – это отрасль криминалистических знаний о применении методов, средств и приемов метрологии в криминалистике.

Все результаты исследования вещественных доказательств, основанные на значениях измерений, являются доказательствами в том случае, если они удовлетворяют требованиям Закона «Об обеспечении единства измерений».

При проведении экспертиз применяются единицы измерений Международной системы единиц и внесистемные единицы измерений, допущенные к применению в Республике Беларусь. Средства измерений должны быть отградуированы в данных единицах измерений и обеспечивать прослеживаемость результатов измерений до единиц измерений, воспроизводимых эталонами единиц величин. Для достижения этих условий средства измерения необходимо подвергнуть метрологической аттестации, калибровке и поверке.

Метрологическая аттестация средств измерений – составная часть метрологического контроля, включающая выполнение работ, в ходе которых устанавливаются метрологические характеристики средств измерений.

Поверка – составная часть метрологического контроля, включающая выполнение работ, в ходе которых подтверждается соответствие метрологических характеристик средств измерений установ-

ленным техническим требованиям. Поверка средства измерений заключается в определении его погрешностей и установлении пригодности к применению.

Калибровка – составная часть метрологического контроля, включающая выполнение работ, в ходе которых устанавливаются метрологические характеристики средств измерений путем определения в заданных условиях соотношения между значением величины, полученным с помощью средства измерений, и соответствующим значением величины, воспроизводимым эталоном единицы величины.

2.2. Физические величины и их измерение.

Единицы физических величин

Все объекты окружающего мира характеризуются своими свойствами. Свойство – философская категория, выражающая такую сторону объекта (явления, процесса), которая обуславливает его различие или общность с другими объектами (явлениями, процессами) и обнаруживается в его отношениях к ним. Свойство – категория качественная. Для количественного описания различных свойств процессов и физических тел вводится понятие величины. Величина – это свойство чего-либо, которое может быть выделено среди других свойств и оценено тем или иным способом, в том числе и количественно. Величина не существует сама по себе, имеет место лишь постольку, поскольку существует объект со свойствами, выраженными данной величиной.

Анализ величин позволяет разделить их на два вида: величины материального вида (реальные) и величины идеальных моделей реальности (идеальные), которые относятся главным образом к математике и являются обобщением (моделью) конкретных реальных понятий. Реальные величины, в свою очередь, делятся на физические и нефизические. Физическая величина в самом общем случае может быть определена как величина, свойственная материальным объектам (процессам, явлениям), изучаемым в естественных (физика, химия) и технических науках. К нефизическим величинам следует отнести величины, присущие общественным (нефизическим) наукам – философии, социологии, экономике и т. д. Объектами измерений являются физические величины.

Физическая величина – характеристика одного из свойств физического объекта, общая в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальная (различная) для каждого из них. Индивидуальность в количественном отношении понимают в том смысле, что свойство может быть для одного объекта в определенное число раз больше или меньше, чем для

другого. Так, все тела обладают массой и температурой, но у каждого из них они различны в количественном отношении. Физическими величинами являются плотность, масса, энергия, электрический заряд, температура, показатель преломления и пр. Таким образом, физические величины – это измеренные свойства физических объектов и процессов, с помощью которых они могут быть изучены.

Конкретные проявления одной и той же физической величины называются однородными величинами, которые различаются размерами. Для того чтобы можно было установить для каждого объекта различия в количественном содержании свойства, отображаемого физической величиной, в метрологии введены понятия ее размера и значения.

Количественной характеристикой любого свойства служит размер. **Размер физической величины** – это количественное содержание в данном объекте свойства. Например, каждое тело обладает определенной массой, вследствие чего тела можно различать по их массе, т. е. по размеру физической величины – массы.

Для сравнения размеров однородных величин вводится **значение физической величины** – выражение размера физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц. Например, 10 кг – это значение массы некоторого тела, 3 м – это длина объекта. 10 – это отвлеченное число, которое входит в значение физической величины и которое называется ее числовым значением; кг – размер единицы измерения данной физической величины.

Единица физической величины – это физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное единице. Она применяется для количественного выражения однородных физических величин. Размер единиц физических величин устанавливается законодательно путем закрепления определения метрологическими органами государства.

Важной характеристикой физической величины является ее **размерность**, которая обозначается символом $\dim X$ (англ. dimension – размерность). Размерность присваивается основным физическим величинам систем в виде прописной буквы латинского или греческого алфавита. Например, длина – L , масса – M , время – T , сила электрического тока – I , термодинамическая температура – Θ , сила света – J , количество вещества – N . Например, размерность скорости $\dim v = LT^{-1}$.

Для размерности любой физической величины можно записать общее выражение $\dim X = L^{\lambda} M^{\beta} T^{\gamma} \Theta^{\epsilon} J^{\mu} N^{\sigma}$. Здесь учтено, что система из семи основных физических величин дает возможность выразить производную физическую величину. Показатель степени, в которую возведена размерность основной величины, называют показателем размерности. Каждый из показателей размерности может быть поло-

жительным или отрицательным, целым или дробным числом, нулем. Если все показатели размерности равны нулю, то такую величину называют безразмерной.

Над размерностями можно производить действия умножения, деления, возведения в степень и извлечения корня. Понятие размерности используется:

- для перевода единиц из одной системы в другую;
- для проверки правильности сложных расчетных формул, полученных в результате теоретического вывода;
- при выяснении зависимости между величинами;
- в теории физического подобия.

Размер физической величины устанавливается в процессе измерения.

Измерение – это совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины и ее единицы и получение значения этой величины. Измерение как познавательный процесс заключается в сравнении путем физического эксперимента данной физической величины с известной физической величиной, принятой за единицу измерения.

Если невозможно выполнить измерение (не определена единица измерения физической величины), практикуется оценивание такой величины по условной шкале. Шкала величины – упорядоченная последовательность ее значений, принятая по соглашению на основании результатов точных измерений. Примером такой шкалы являются широко распространенные атласы цветов, предназначенные для идентификации цвета. Следует отметить, что оценивание нефизических величин не входит в задачи теоретической метрологии.

Единицы физических величин можно разделить на основные, дополнительные (условно независимые) и производные (условно зависимые).

Основные единицы выбирают произвольно, независимо для каждой физической величины. Выбранные таким способом единицы называются *независимыми*. Однако в практической деятельности пользоваться такими единицами неудобно, так как для этого необходимо вводить множество переводных коэффициентов. Поэтому количество независимых величин, выбранных для практических целей, невелико. Например, метр при введении метрической системы мер был определен как одна десятиллионная часть ($0,1 \cdot 10^{-7}$) четверти длины Парижского меридиана. В настоящее время метр определяют как длину, равную 1 650 763,73 длины волны излучения в вакууме, соответствующего переходу между уровнями $2p^{10}$ и $5d^5$ атома криптона-86.

В *Международной системе единиц* (СИ, франц. Systeme International) было введено понятие *дополнительных единиц*, к которым были отнесены единицы плоского и телесного углов – радиан истерадиан.

Единицу физической величины можно получить при помощи формул, выражающих количественную зависимость между физическими величинами. В этом случае единица измерений будет выражаться через основные единицы физических величин. Единицы измерений, образованные с помощью формул, называются *производными*. Например, единица скорости – метр в секунду (м/с), единица давления – паскаль (Па), $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$.

Совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, называется **системой единиц физических величин**.

В названии системы физических величин применяют символы величин, принятых за основные. Например, система величин механики, в которой в качестве основных используются длина (L), масса (M) и время (T), называется системой LMT. Действующая Международная система единиц должна обозначаться символами LMTI $\cap$ NJ. В ст. 10 Закона «Об обеспечении единства измерений» прописано: на территории Республики Беларусь применяются единицы измерений Международной системы единиц и внесистемные единицы измерений, допущенные к применению в Республике Беларусь; при осуществлении внешнеэкономической деятельности характеристики и параметры экспортируемых товаров могут быть выражены в единицах измерений, установленных в договоре.

Международная система единиц является логическим развитием предшествовавших ей систем единиц: СГС (основные единицы: сантиметр, грамм, секунда), МКГСС (основные единицы: метр, килограмм-сила, секунда), МКС (основные единицы: метр, килограмм, секунда) и др. При ее разработке специалисты исходили из необходимости охватить ею все области науки и техники, принять удобные для практики размеры основных величин, уже получивших распространение, выбрать в качестве основных единиц такие величины, воспроизведение которых возможно с наибольшей точностью. Данная система единиц была принята XI Генеральной конференцией по мерам и весам в 1960 г. СИ – единственная система единиц физических величин, которая принята и используется в большинстве стран мира. Она состоит из семи основных, двух дополнительных (табл. 1) и ряда производных единиц.

На территории нашей страны Международная система единиц действует с 1 января 1982 г. в соответствии с ГОСТ 8.417–81 «ГСИ. Единицы физических величин».

Таблица 1

Основные и дополнительные единицы физических величин СИ					
Единица измерения физической величины			Физическая величина		
Наименование	Обозначение русское	Обозначение международное	Наименование	Размерность	Обозначение
<i>Основные единицы</i>					
Метр	м	m	длина	L	l
Килограмм	кг	kg	масса	M	m
Секунда	с	s	время	T	t
Ампер	А	A	сила электрического тока	I	I
Градус Кельвина	К	K	термодинамическая температура	Θ	T
Кандела	кд	cd	сила света	J	J
Моль	моль	mol	количество вещества	N	n, ν
<i>Дополнительные единицы</i>					
Радан	рад	rad	плоский угол	—	—
Стерadian	ср	sr	телесный угол	—	—

Некоторые производные единицы физических величин, которые применяют в своих исследованиях судебные эксперты, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Производные единицы физических величин				
Физическая величина		Единица физической величины		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	Выражение через единицы СИ
Сила тяжести (вес)	$L M T^{-2}$	ньютон	Н	$м \cdot кг \cdot с^{-2}$
Количество электричества	TI	кулон	Кл	$с \cdot А$
Световой поток	J	люмен	лм	$кд \cdot ср$
Освещенность	$L^{-2} J$	люкс	лк	$м^{-2} \cdot кд \cdot ср$
Частота	T^{-1}	герц	Гц	$с^{-1}$

Также единицы физических величин можно получить путем умножения и деления независимой или производной единицы на целое число, обычно на 10, или на число, являющееся степенью при основании 10. Это *кратные и дольные единицы физических величин*. Кратная единица – это единица физической величины, в целое число раз большая системной или внесистемной единицы. Дольная единица – единица физической величины, в целое число раз меньшая системной или внесистемной единицы. Приставки для образования кратных и дольных единиц СИ приведены в табл. 3.

Таблица 3

Множители и приставки для образования кратных и дольных единиц СИ

Множитель	Приставка	Обозначение приставки		Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		международное	русское			международное	русское
10^1	дека	da	да	10^{-1}	деци	d	д
10^2	гекто	h	г	10^{-2}	санти	c	с
10^3	кило	k	к	10^{-3}	милли	m	м
10^6	мега	M	М	10^{-6}	микро	μ	мк
10^9	гига	G	Г	10^{-9}	нано	n	н
10^{12}	тера	T	Т	10^{-12}	пико	p	п
10^{15}	пета	P	П	10^{-15}	фемто	f	ф
10^{18}	экса	E	Э	10^{-18}	атто	a	а

Существуют *правила использования приставок*:

приставки можно присоединять только к простым наименованиям, не содержащим приставок. Например, не допускается присоединять приставку к наименованию «килограмм». Слово «килограмм» уже содержит приставку «кило-». Недопустимо образование такого термина, как «декакилограмм»;

нельзя присоединять приставки к кратным и дольным единицам, имеющим специальные наименования, к таким, например, как микрон, тонна. Будут неправильными наименования «миллимикрон», «мегатонна»;

нельзя присваивать особые собственные наименования дольным и кратным единицам.

Рекомендуется вместо названия «микрон» использовать название «микрометр» ($1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$), а вместо миллимикрона – нанометр ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$).

В экспертных исследованиях диапазон измеряемых величин очень широк, а единицы измерения международной системы для многих случаев криминалистической экспертной практики неудобны – или слишком

ком велики, или очень малы (например, единицей длины является метр, а микрочастицу измеряют в миллиметрах, микрометрах), поэтому судебный эксперт может пользоваться и внесистемными единицами.

Все единицы физических величин, не входящие ни в одну из принятых систем, являются внесистемными. Внесистемные единицы по отношению к единицам СИ разделяют на четыре вида:

допускаемые к применению наравне с единицами СИ (некоторые из них приведены в табл. 4). Например, единица массы – тонна, грамм; единица плоского угла – градус, минута, секунда; единица объема – литр, миллилитр;

допускаемые к применению в специальных областях. Например, диоптрия – единица оптической силы в оптике, электрон-вольт – единица энергии в физике;

временно допускаемые к применению наравне с единицами СИ. Например, морская миля – в морской навигации, карат – единица массы в ювелирном деле. Эти единицы должны изыматься из употребления в соответствии с международными соглашениями;

изъятые из употребления единицы измерений. К таким единицам относятся: единицы длины – микрон, ангстрем; единица давления – миллиметр ртутного столба; единица мощности – лошадиная сила; единица массы – центнер и т. д.

Таблица 4

Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ

Физическая величина	Единица физической величины			
	Наименование	Обозначение		Соотношение с единицей СИ
		международное	русское	
Площадь	гектар	га	га	10^4 м^2
Оптическая сила	диоптрия	–	дптр	10^{-1} м
Температура	градус Цельсия	°C	°C	$1^\circ \text{C} = 273,16 \text{ K}$
Масса	тонна	t	т	10^3 кг
	атомная единица массы	u	а. е. м.	$\approx 1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Объем, вместимость	литр	l	л	10^{-3} м^3
Время	сутки	d	сут	86 400 с
	час	h	ч	3 600 с
	минута	min	мин	60 с
Плоский угол	градус	...°	...°	$(\pi/180) \text{ рад} = 1,745329 \cdot 10^{-2} \text{ рад}$

Окончание табл. 4

Физическая величина	Единица физической величины			
	Наименование	Обозначение		Соотношение с единицей СИ
		международное	русское	
	минута	...'	...'	$(\pi/10\,800) \text{ рад} = 2,90 \cdot 888 \cdot 10^{-4} \text{ рад}$
	секунда	...''	...''	$(\pi/648\,000) \text{ рад} = 4,848137 \cdot 10^{-6} \text{ рад}$

При оформлении измерительной информации следует использовать правила написания и обозначения единиц физических величин и полученных величин:

обозначения единиц измерений физической величины применяют только с числовыми значениями (в тексте следует записывать полное название единицы, например: «измерение длины в метрах», а «измеренная длина – 25 м»); между числовым значением и обозначением необходим пробел; обозначения единиц, наименования которых образованы по фамилиям ученых, должны записываться с прописной (заглавной) буквы, например 220 В, 25 А;

при указании значений величин с предельными отклонениями обозначения единиц следует приводить после каждого значения, например $20 \text{ кг} \pm 1 \text{ кг}$, или же заключать числовые значения в скобки, а обозначения единиц ставить после них: $(20 \pm 1) \text{ кг}$;

при перечислении нескольких измеряемых значений обозначение единиц ставят после последней цифры: 4, 6, 8 мм;

помещение обозначений единиц рядом с формулой, выражающей зависимость между величинами, не допускается (пояснения единиц даются отдельно).

Более полный перечень правил написания и обозначения единиц приведен в справочниках по Международной системе единиц и в стандартах, как международных, так и государственных.

Одно из условий обеспечения единства измерений – выражение результата в узаконенных единицах. Это предполагает не только применение допущенных законом единиц физических величин, но и обеспечение равенства их размеров. А для этого необходимо обеспечить воспроизведение, хранение единиц физических величин и передачу их размеров всем применяемым средствам измерений, прогнанированным в этих единицах.

Средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения единицы величины (или кратных либо дельных значений единицы величины) с целью передачи ее размера другим средствам измерений

данной величины, выполненное по особой спецификации и официально утвержденное в установленном порядке, называется эталоном.

Таким образом, можно отметить, что стандарт (от англ. standard – норма, образец, мерило) в широком смысле имеет два значения:

- 1) образец, эталон, модель, принимаемые за исходные для сопоставления с ними других объектов;
- 2) нормативный технический документ, устанавливающий:
 - единицы физических величин;
 - термины и их определения;
 - требования к продукции и производственным процессам;
 - требования, обеспечивающие безопасность людей, сохранность материальных ценностей и т. д.

2.3. Погрешности измерений и их классификация

Уголовно-процессуальным кодексом Республики Беларусь предусматривается проведение необходимых измерений в ходе следственных действий. Так, для выявления обстановки и условий любого происшествия и иных обстоятельств, имеющих значение для дела, измерения осуществляются при осмотре места происшествия. Порядок выемки имущества и наложения на него ареста требует, чтобы все изымаемые предметы были перечислены в протоколе с точным указанием их количества, массы, размерных характеристик и т. д. Результат измерения должен отвечать условиям метрологической допустимости, т. е. быть получен с соблюдением требований действующих законов и нормативных технических документов, обеспечивающих единство измерений.

К результату измерения предъявляются следующие *требования*:

- результат измерения должен быть выражен в узаконенных единицах. Например, линейные величины измеряются в метрах;
- у результата измерения должна быть определена погрешность (ΔX);
- погрешность не должна превышать нормы – должна быть не более 1–3 % полученного значения, или не превышать трехкратной величины цены деления средства измерения.

Чтобы охарактеризовать качество самих измерений и технических средств измерений, необходимо оценить точность полученных результатов. **Точность измерений** – это качество измерений, отражающих близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Чем меньше разность между измеренным и истинным значениями, тем выше точность. Следовательно при оценке качества проведенных измерений необходимо учитывать их погрешности.

Истинное значение физической величины – это значение, идеально отражающее в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство измеряемого объекта. Из-за несовершенства средств и методов измерений истинные значения величин практически получить нельзя. Их можно представить только теоретически. А значения величины, полученные при измерении, лишь в большей или меньшей степени приближаются к истинному значению. Таким образом, истинное значение физической величины является пределом, к которому приближается значение физической величины с повышением точности измерений. Оно не зависит от средств нашего познания и является той абсолютной истиной, к которой мы стремимся, пытаемся выразить ее в виде числовых значений. На практике это абстрактное понятие приходится заменять понятием «действительное значение».

Действительное значение физической величины – это значение величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что в поставленной задаче может быть использовано вместо него. Это значение изменяется в зависимости от требуемой точности измерений.

Измеренное значение физической величины – это значение, полученное при измерении с применением конкретных методов и средств измерений. При технических измерениях значение физической величины, найденное с допустимой погрешностью, принимается за действительное значение. Это особенно актуально для измерений, осуществляемых в ходе следственных и судебных действий, так как результаты этих измерений впоследствии используются в процессе доказывания и могут быть положены в основу приговора или решения суда.

Погрешность результата измерения – это отклонение результата измерения X от истинного (или действительного) значения Q измеряемой величины: $\Delta X = X - Q$. Она указывает границы неопределенности значения измеряемой величины. Близость погрешности к нулю отражает точность результата измерений. Считается, что чем меньше погрешность измерения, тем больше его точность. **Погрешность средства измерений** – разность между показанием средства измерений и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины. Она характеризует точность средства измерений. Понятия погрешности результата измерения и погрешности средства измерений во многом близки друг к другу и классифицируются по одинаковым признакам.

Погрешности классифицируют по различным основаниям.

По способу выражения погрешности подразделяют на абсолютную, относительную и приведенную.

Абсолютная погрешность описывается формулой

$$\Delta X = X - Q,$$

где X – измеренное значение; Q – истинное значение измеряемой величины.

Выражается абсолютная погрешность в единицах измеряемой величины. Однако она не может в полной мере служить показателем точности измерений, так как одно и то же ее значение, например $\Delta X = 0,05$ м, при $X = 100$ м соответствует достаточно высокой точности измерений, а при $X = 1$ м – низкой. Поэтому и вводится понятие относительной погрешности.

Относительная погрешность определяется отношением абсолютной погрешности измерения к действительному или измеренному значению измеряемой величины: $\delta = \Delta X/X$ или $\delta = \Delta X/X \cdot 100\%$. Из этих отношений находят относительную погрешность в долях измеряемой величины или процентах.

Относительная погрешность позволяет судить о качестве измерений, если результаты сильно отличаются друг от друга. Например, с абсолютной погрешностью 1 мм измерена крышка стола ($L_1 = 1,2$ м) и спичечный коробок ($L_2 = 50$ мм). $\delta_1 = 1/1200 \cdot 100\% = 0,08\%$, $\delta_2 = 1/50 \cdot 100\% = 2\%$, $\delta_1 < \delta_2$. Крышка стола измерена с большей точностью, чем спичечный коробок.

Устранение погрешности в процессе измерений повышает их точность. При высокой точности измерений погрешности всех видов минимальны.

Количественно точность может быть выражена обратной величиной модуля относительной погрешности

$$E = |\delta|^{-1} = |\Delta X/X|^{-1}.$$

Например, если относительная погрешность равна $\pm 0,01$, то точность равна

$$|0,01|^{-1} = \frac{1}{0,01} = 100.$$

Считается, что чем меньше погрешность измерения, тем больше его точность.

Эта наглядная характеристика точности результата измерения не годится для нормирования погрешности средств измерений, так как при изменении значений X относительная погрешность принимает различные значения, вплоть до бесконечности при $X = 0$. В связи с этим для указания и нормирования погрешности средств измерений используется еще одна разновидность погрешности – приведенная. **Приведенная погрешность средства измерений** – это относительная по-

грешность, в которой абсолютная погрешность средства измерений отнесена к условно принятому значению X_N , постоянному во всем диапазоне измерений или его части: $\gamma = \Delta X/X_N$ или $\gamma = \Delta X/X_N \cdot 100\%$, где значение X_N называется нормирующим. За X_N , как правило, принимают верхний предел измерений данного средства измерений, применительно к которым и используется главным образом понятие «приведенная погрешность». Приведенную погрешность обычно выражают в процентах.

По характеру проявления погрешности делят на случайные, систематические, грубые (промахи).

Случайная погрешность – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) в серии повторных измерений одного и того же размера физической величины, проведенных с одинаковой тщательностью в одних и тех же условиях. Случайные погрешности обязаны своим происхождением ряду причин, действие которых неодинаково в каждом опыте и не может быть учтено. Случайные погрешности не повторяются при измерениях, выполненных несколько раз в одинаковых условиях. Здесь нет какой-либо закономерности, ошибки обнаруживаются при повторных измерениях одной и той же величины в виде некоторого разброса получаемых результатов. Например, при взвешивании микрообъектов на аналитических весах одними и теми же гирями получаются разные значения массы. Причинами ошибок могут быть колебания воздуха, воздействовавшие неодинаковым образом на чашки весов; пылинки, осевшие на одну из чашек весов; нагревание одной половины коромысла от приближения руки взвешивающего; разное трение в правом и левом подвесах чашек и множество других обстоятельств, которые практически невозможно учесть. Для устранения подобных погрешностей измерения проводят несколько раз и вычисляют среднее значение массы.

Случайные погрешности неизбежны, неустраняемы и всегда присутствуют в результате измерения, однако их можно существенно уменьшить, увеличив число наблюдений. Описание случайных погрешностей возможно только на основе теории случайных процессов и математической статистики. Для получения результата, минимально отличающегося от истинного значения измеряемой величины, проводят многократные измерения требуемой величины с последующей математической обработкой полученных результатов.

Систематическая погрешность – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно меняющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины. Отличительный признак постоянной и переменной систематических погрешностей заключается в том, что они могут быть предсказаны, обнаруже-

ны и благодаря этому почти полностью устранены введением соответствующей поправки.

Систематические погрешности (ошибки) можно разделить на четыре группы.

1. Погрешности, природа которых известна и величина может быть достаточно точно определена. Такие ошибки могут быть устранены введением соответствующих поправок. Например, при измерении длины объекта может оказаться необходимым вводить поправки, связанные с температурным удлинением объекта и измерительного устройства. Источники таких ошибок необходимо тщательно анализировать, величину поправок определять и учитывать при окончательном результате (например, при измерении линейных размеров металлоконструкций в ходе осмотра места пожара по горячим следам; измерении спиртометром содержания этанола в спиртосодержащих жидкостях при разных температурах).

2. Погрешности известного происхождения, но неизвестной величины. К их числу относятся инструментальные погрешности, например погрешность электроизмерительных приборов, определяемая классом точности. Если на приборе, например, указан класс точности 0,5, то это означает, что показания верны с точностью до 0,5 % всей действующей шкалы прибора. Иначе говоря, вольтметр, шкала которого составляет 150 В, дает ошибку в измерении напряжения 0,75 В и нет смысла пытаться с помощью такого вольтметра измерять напряжение с точностью 0,2 В.

Систематические ошибки данной группы не могут быть исключены, но наибольшее значение, как правило, известно. Таким образом, величину измеренного напряжения в описанном примере можно записать следующим образом:

$$U = (U_{\text{изм}} \pm 0,75) \text{ В},$$

где $U_{\text{изм}}$ – показания прибора.

Напряжение лежит в пределах $(U_{\text{изм}} \pm 0,75) \text{ В}$, больше ничего об этой величине сказать нельзя.

Максимальные погрешности измерительных приборов наносятся на самом приборе или указываются в паспорте. Наибольшую абсолютную погрешность принято считать постоянной по всей шкале прибора, если нет специальной таблицы поправок.

3. Погрешности, о существовании которых неизвестно, хотя их величины могут быть очень значительными. Например, для определения природы драгоценного металла в каком-либо изделии можно установить его плотность, измерив, объем и массу последнего. Однако если измеряемый объект содержит внутри раковины, образовавшиеся при

отливке, будет допущена ошибка измерения истинного объема изделия, поэтому плотность окажется неточной. В данном случае источник погрешности и ее величину найти нетрудно, определив природу металла другим способом, например путем эмиссионного спектрального анализа. Таким образом, один из наиболее надежных способов выявления таких погрешностей – проведение измерения объекта иным методом и в других условиях. Совпадение полученных результатов служит гарантией их правильности.

4. Погрешности, которые не связаны непосредственно с измерительными операциями, но существенным образом искажающие результаты измерений. Эти погрешности обусловлены свойствами измеряемого объекта. Если измерить диаметр стреляной гильзы, сечение которой считается круглым, но в действительности является овальным, то при однократном измерении полученное значение будет либо больше, либо меньше истинного. Проведя измерения диаметра нескольких участков и взяв среднее из полученных значений, можно определить число, лучше характеризующее диаметр гильзы. Если же измерить только диаметр и считать гильзу круглой, то вычисленная по этим измерениям площадь будет содержать систематическую ошибку, определенную степенью овальности гильзы и выбранным для измерения диаметром. Другой пример. Если для измерения электропроводности материала (по делам о поджогах) взят отрезок проволоки, имеющий какой-либо дефект, например утолщение, то сопротивление такого участка будет неверно характеризовать электропроводность материала. Необходимо измерить сопротивление на нескольких участках проволоки.

Систематическую ошибку можно перевести в случайную, и наоборот: при определении, например, диаметра пули, имеющей сечение, измерить диаметр в нескольких местах и взять среднее значение; при определении сопротивления проволоки измерить сопротивление нескольких отрезков и взять среднее значение. Перевод систематических ошибок в случайные часто оказывается полезным, так как позволяет улучшить точность получаемых результатов.

Если допустить, что все систематические ошибки учтены, т. е. поправки, которые следовало определить, вычислены, класс точности измерительного прибора известен и есть уверенность, что отсутствуют какие-либо существенные и неизвестные источники систематических ошибок, то и в этом случае результаты измерений не свободны от случайных ошибок. Когда случайная ошибка окажется меньше систематической, то нет смысла пытаться еще уменьшить величину случайной ошибки – результаты измерений не станут от этого точнее; желая получить большую точность, нужно искать пути к уменьшению система-

тической ошибки. Наоборот, если случайная ошибка больше систематической, то именно случайную ошибку нужно уменьшить в первую очередь.

Из изложенного вытекают два важных правила.

1. Если систематическая ошибка является определяющей, т. е. ее величина существенно больше величины случайной ошибки, присущей данному методу, то достаточно выполнить измерение один раз.

2. Если случайная ошибка является определяющей, то измерение следует производить несколько раз. Число измерений целесообразно выбирать такое, чтобы случайная ошибка среднего арифметического была меньше систематической ошибки, с тем чтобы последняя определяла окончательную ошибку результата.

Если из каких-либо источников известно, что величина случайной ошибки меньше систематической, то можно ограничиться одним измерением. Это имеет место тогда, когда измерение производится известным методом, ошибки которого в какой-то степени изучены. Так, если измерить длину следа разреза с помощью измерительной линейки с погрешностью деления в 1 мм, то можно быть уверенным, что случайная ошибка много меньше 1 мм и следует ограничиться одним измерением. Точно так же известно, что погрешность взвешивания на обычных торговых весах меньше 5 г, в то время как цена деления шкалы весов 5 г и присущая им систематическая ошибка близка к этой величине. На таких весах следует взвешивать не более одного раза. При взвешивании на аналитических весах случайная ошибка больше систематической и для повышения точности проводится несколько взвешиваний.

Таким образом, необходимое число измерений определяется в конечном итоге соотношением величины систематической и случайной ошибки (погрешности).

Грубая погрешность (промах) – это погрешность результата отдельного наблюдения, входящего в ряд измерений; для данных условий он резко отличается от остальных результатов этого ряда. Для устранения промахов нужно соблюдать аккуратность и тщательность в работе и записях результатов. Иногда можно выявить промах, повторив измерение в нескольких отличных условиях. Так, при измерении длины линейкой или рулеткой промах может появиться в результате того, что один из концов измеряемого объекта окажется совмещенным не с нулевой отметкой линейки (рулетки), а с каким-либо иным делением, причем отсчет будет сделан без учета этого обстоятельства. Перейдя на другой участок шкалы, можно легко устранить промах.

Погрешности в зависимости от причин возникновения подразделяют на инструментальные погрешности измерения, погрешности метода измерения, погрешности измерения в результате изменения его условий и субъективные погрешности измерения.

Инструментальная погрешность измерения обусловлена погрешностью применяемого средства измерения. Иногда эту погрешность называют аппаратурной.

Погрешность метода измерения – составляющая систематической погрешности измерений из-за несовершенства принятого метода измерения. Отличительной особенностью погрешностей метода является то, что они не могут быть указаны в документации на используемое средство измерения, поскольку от него не зависят; их должен определять эксперт в каждом конкретном случае. В связи с этим эксперт должен четко различать фактически измеряемую им величину и величину, подлежащую измерению. Иногда погрешность метода может проявляться как случайная.

Погрешность измерения в результате изменения его условий – это составляющая систематической погрешности измерения, являющаяся следствием неучтенного влияния отклонения в одну сторону какого-либо из параметров, характеризующих условия измерений, от установленного значения. Этот термин применяют в случае неучтенного или недостаточно учтенного действия той или иной влияющей величины (температура, атмосферное давление, влажность воздуха, напряженность магнитного поля, вибрация и т. д.), неправильной установки средств измерений, нарушения правил их взаимного расположения и т. д.

Субъективная погрешность измерения обусловлена погрешностью отсчета экспертом показаний по шкалам средства измерения, диаграммам регистрирующих приборов. Она вызвана состоянием эксперта, его положением во время работы, несовершенством органов чувств.

Для **характеристики качества измерений** применяют такие термины, как «точность», «правильность», «сходимость» и «воспроизводимость».

Точность измерений – качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Высокая точность измерений соответствует малым погрешностям всех видов, как систематических, так и случайных.

Правильность измерений – качество измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в их результатах. Результаты измерений правильны постольку, поскольку они не искажены систематическими погрешностями.

Сходимость измерений – качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в одинаковых

условиях (одним и тем же средством измерений, одним и тем же оператором). Для методик выполнения измерений сходимость измерений является одной из важнейших характеристик.

Воспроизводимость измерений – качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в различных условиях (в разное время, в разных местах, разными методами и средствами измерений). В процедурах испытаний продукции воспроизводимость является одной из важнейших характеристик.

Таким образом, любая измерительная информация (приводимая в нормативных и технических документах, справочных пособиях, научно-технической литературе и т. д.), предназначенная для практического использования, должна сопровождаться указанием характеристик погрешности измерений. В зависимости от назначения результатов измерений, сложности и ответственности решаемых задач номенклатура выбираемых характеристик погрешностей измерений может быть различной. Но во всех случаях она должна обеспечивать возможность сопоставления и совместного использования результатов измерений, достоверную оценку качества и эффективности решаемых измерительных задач. Это касается и измерений, проводимых при производстве экспертиз.

2.4. Математическая обработка и оценка результатов измерений при проведении экспертных исследований

При выполнении судебных экспертиз часто проводят измерения какого-либо параметра, характеризующего исследуемый объект. Однако при любых измерениях, прямых или косвенных, невозможно получить истинное значение измеряемой величины, результат измерений всегда содержит погрешность (ошибку). Поэтому, чтобы указать, насколько полученный результат близок к истинному значению, вместе с полученным результатом указывают погрешность (ошибку) измерения.

Для оценки величин погрешностей и установления интервалов, в которых с необходимой степенью надежности находится истинное значение измеряемого параметра, проводят математическую обработку результатов измерений.

При однократном измерении погрешность можно обнаружить только путем логического анализа или сопоставления результата с априорным представлением о нем. Установив и устранив причину ошибки, измерение можно повторить.

При многократных измерениях один и тот же параметр может принимать отличающиеся друг от друга значения. Эти значения зависят от выбранного измерительного инструмента (прибора), метода измерения, т. е. зависят от систематической погрешности. Систематиче-

ская погрешность, природа которой известна, может быть исключена введением поправок.

При измерениях также важно оценить и случайные погрешности. Как уже отмечалось, полностью избавиться от случайных ошибок невозможно, но их можно уменьшить путем многократного повторения измерений. Так как в каждом измерении значение величины X нельзя предсказать, то она называется случайной величиной. Если случайная величина может принимать бесконечное множество значений, причем они могут быть сколь угодно близки друг к другу, то такая величина называется непрерывной случайной. А если значения случайной величины изменяются не плавно, а скачками, т. е. принимают только некоторые заранее определенные значения, то такую величину называют дискретной. Для изучения случайных величин используют аппарат теории вероятностей и математической статистики. При этом рассматривают появление случайных ошибок как случайных событий при многократно повторяемых наблюдениях.

Поведение случайных величин описывают статистические закономерности, которые являются предметом теории вероятностей.

Статистическим определением вероятности P события A является отношение

$$P_A = \frac{n_i}{n},$$

где n – общее число опытов, n_i – число опытов, в которых событие i произошло.

При этом общее число опытов должно быть очень велико. Вероятность P_A является численной оценкой объективной возможности появления события. Вероятность достоверного события равна единице, а вероятность невозможного события – нулю.

При большом числе измерений случайные ошибки подчиняются нормальному распределению (распределение Гаусса) (рис. 8), основными признаками которого являются следующие:

при достаточно большом количестве измерений случайные ошибки одинаковы по величине, но различные по знаку встречаются одинаковое число раз;

большие по абсолютному значению ошибки встречаются намного реже, чем малые.

Закон нормального распределения ошибок выражается формулой

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{2D}} e^{-\frac{(X-M(X))^2}{2D}},$$

где $M(X)$ – математическое ожидание случайной величины, указывает координату максимума кривой плотности распределения, приравнива-

ется к среднему значению случайной величины $X_{\text{ср}}$; X_i – значение случайной величины; D – дисперсия распределения, постоянная величина, показывает, как быстро уменьшается вероятность появления погрешности с увеличением ее абсолютного значения; e – основание натурального логарифма, математическая константа, $e = 2,718218$.

Дисперсия (от лат. dispersio – рассеяние) – в математической статистике наиболее употребительная мера рассеивания, отклонения случайных значений от среднего. $D = \sigma^2$. Квадратный корень из дисперсии $s = \sqrt{s^2}$ называется средним квадратичным отклонением случайной величины, которое характеризует разброс результатов относительно истинного значения.

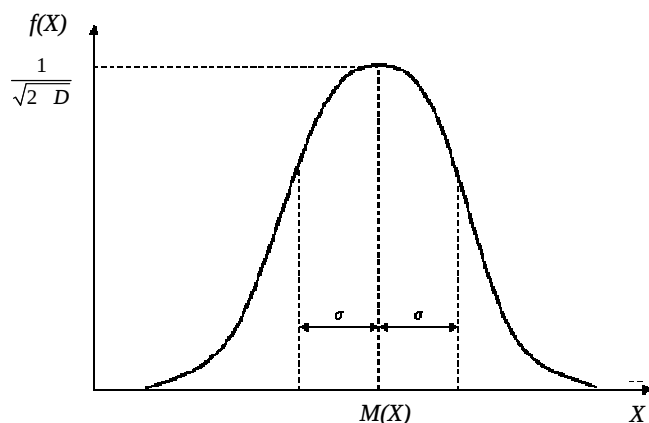


Рис. 8. Нормальное распределение (кривая Гаусса)

Из графика (см. рис. 8) видно, что наиболее вероятные значения случайной величины расположены вблизи его пика (среднего значения). По мере удаления от него вероятность значений P_A уменьшается, и если значение расположено в «хвосте» распределения, то оно очень маловероятно. Площадь фигуры, заключенной между кривой, осью X и двумя ординатами из точек $M(X) + \sigma$ и $M(X) - \sigma$ численно равна вероятности, с которой измеренная величина попадет в интервал $(M(X) + \sigma, M(X) - \sigma)$ и которая называется *доверительной вероятностью* или *надежностью*, а соответствующий интервал – *доверительным интервалом*. Площадь под всей кривой $f(X)$ равна вероятности попадания случайной величины в интервал от 0 до ∞ , т. е. $\int_0^\infty f(X) dX = 1$, так как вероятность достоверного события равна единице.

Таким образом, теория вероятностей позволяет определить величину интервала, в котором с известной вероятностью P_A находятся результаты отдельных измерений.

Если число измерений n достаточно велико, то доверительная вероятность выражает долю из общего числа n тех измерений, в которых измеренная величина оказалась в пределах доверительного интервала. Каждой доверительной вероятности P_A соответствует свой доверительный интервал. Для примера обозначим на числовой оси результаты $n = 10$ условных измерений (рис. 9). Они группируются вокруг средней величины $X_{\text{ср}}$.

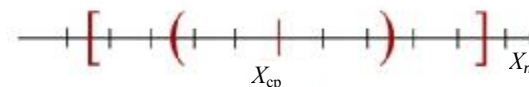


Рис. 9. Графическое изображение результатов измерений

Круглыми скобками обозначим доверительный интервал, внутри которого находится 4 экспериментальных значения из 10, т. е. доверительная вероятность $P_1 \approx 40\%$. Квадратные скобки обозначают доверительный интервал для вероятности $P_2 \approx 80\%$. Чем шире доверительный интервал, тем больше вероятность получить результат внутри этого интервала. В теории вероятностей устанавливается количественная связь между величиной доверительного интервала, доверительной вероятностью и числом измерений. Если в качестве доверительного интервала выбрать интервал, соответствующий средней погрешности, т. е. $\Delta X = \Delta X_{\text{ср}}$, то при достаточно большом числе измерений он соответствует доверительной вероятности $P \approx 60\%$. При уменьшении числа измерений доверительная вероятность, соответствующая такому доверительному интервалу ($X_{\text{ср}} \pm \Delta X_{\text{ср}}$), уменьшается.

Таким образом, для оценки доверительного интервала случайной величины можно пользоваться величиной средней погрешности $\Delta X_{\text{ср}}$.

Используя нормальное распределение, эксперт-криминалист оценивает точность проведенных измерений и точность среднего арифметического значения их результатов.

Для характеристики величины случайной погрешности необходимо задать два числа: величину доверительного интервала и величину доверительной вероятности. На практике сложилось так, что в разных областях знаний используют различные значения доверительной вероятности, равные 0,8; 0,9; 0,95; 0,997. Так, доверительная вероятность $P_A = 0,8$ является общепринятой в теории и практике оценки надежности средств автоматизации, электронной и измерительной техники. В физиче-

ском практикуме обычно принято значение доверительной вероятности $P_A = 0,9$. Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь предписывает при определении доверительного интервала результатов измерений выбирать доверительную вероятность $P_A = 0,95$. Если измерения повторить нельзя, помимо границ, соответствующих $P_A = 0,95$, допускается указывать границы для доверительной вероятности $P_A = 0,99$. При измерениях, результаты которых имеют значение для здоровья людей, допускается принимать доверительную вероятность до $P_A = 0,997$, при этом лишь 3 измерения из 1 000 будут промахами. При проведении практических вычислений определено, что при нормальном распределении приблизительно для $1/3$ результатов величина отклонений от среднего арифметического значения X_{cp} превышает среднюю квадратичную погрешность σ , для 5 % – 2σ , для 0,3 % – 3σ . Вероятность того, что случайная величина отклонится от своего математического ожидания на большую величину, чем утроенное среднее квадратичное отклонение, практически равна нулю.

В табл. 5 приведена зависимость доверительной вероятности (доли охватываемых измерений) от ширины доверительного интервала.

Таблица 5

Зависимость доли достоверных измерений от ширины доверительного интервала	
Доверительная вероятность, P_A	Доверительный интервал ($X_{cp} \pm \Delta X_{cp}$)
0,68	$\pm\sigma$
0,9	$\pm 1,7\sigma$
0,95	$\pm 2\sigma$
0,997	$\pm 3\sigma$

На основании вышесказанного можно сформулировать следующее правило: если при многократном измерении одной и той же физической величины сомнительное значение результата измерения отличается от среднего значения больше чем на 3σ , то с доверительной вероятностью 0,997 оно является ошибочным и его следует отбросить.

На практике при проведении ограниченного числа измерений мы не знаем точного значения дисперсии, а можем лишь оценить ее величину. Наилучшей оценкой среднего квадратичного отклонения σ является средняя квадратичная погрешность S_n n измерений:

$$\approx S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{cp})^2}{n-1}}.$$

67

Эта величина статистически стремится к σ при $n \rightarrow \infty$. Таким образом, мы заменяем величину σ в доверительном интервале на ее приближенное значение S_n . Но в таких вычислениях чем меньше число измерений, тем хуже это приближение. Теория показывает, что для корректного определения доверительного интервала с доверительной вероятностью $P_A = 0,9$ требуется не менее 40 измерений.

В экспертной практике при производстве криминалистических экспертиз проводится небольшое число измерений ($n < 20$), поэтому, исходя из теории ошибок, при небольшом числе измерений в доверительный интервал необходимо ввести коэффициент t_n , называемый коэффициентом Стьюдента (табл. 6). Тогда доверительный интервал принимает вид

$$(X_{cp} \pm t_n \cdot S).$$

Таблица 6

Значения коэффициентов Стьюдента

Число степеней свободы, $f = n - 1$	Коэффициент Стьюдента		
	при $P_A = 0,90$	при $P_A = 0,95$	при $P_A = 0,99$
1	6,314	12,706	63,657
2	2,920	4,303	9,925
3	2,353	3,182	5,841
4	2,132	2,776	4,604
5	2,015	2,571	4,032
6	1,943	2,447	3,707
7	1,895	2,365	3,499
8	1,860	2,306	3,355
9	1,833	2,262	3,250
10	1,812	2,228	3,169
11	1,796	2,201	3,106

Предлагается следующий порядок обработки результатов прямых измерений.

1. Результаты $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ записываем в таблицу.
2. Вычисляем среднее значение из n измерений (математическое ожидание X величины):

$$X_{cp} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}.$$

68

3. Находим абсолютную погрешность ΔX каждого измерения:

$$\Delta X_1 = X_1 - X_{\text{cp}},$$

$$\Delta X_2 = X_2 - X_{\text{cp}},$$

.....

$$\Delta X_i = X_i - X_{\text{cp}}.$$

Если погрешность измерительного прибора больше субъективных ошибок, расчеты не производятся.

4. Вычисляем квадраты погрешностей отдельных измерений:

$$\Delta X_1^2 = (X_1 - X_{\text{cp}})^2,$$

$$\Delta X_2^2 = (X_2 - X_{\text{cp}})^2,$$

.....

$$\Delta X_i^2 = (X_i - X_{\text{cp}})^2.$$

5. Определяем среднее квадратичное отклонение выборки (средне-квадратичная погрешность):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{\text{cp}})^2}{n-1}}.$$

6. Определяем среднее квадратичное отклонение (погрешность) результата (одного измерения) серии измерений:

$$S = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{\text{cp}})^2}{n(n-1)}}.$$

7. Задаем значение надежности. Выбираем доверительную вероятность 0,95.

8. По таблице определяем коэффициент Стьюдента t_n для заданной надежности и числа произведенных измерений (n).

9. Находим границы доверительного интервала, т. е. абсолютную погрешность:

$$\Delta X = t_n \cdot S$$

и записываем результат:

$$X = X_{\text{cp}} \pm \Delta X,$$

где X_{cp} – математическое ожидание; ΔX – абсолютная погрешность.

11. Оцениваем относительную погрешность:

$$= \frac{\Delta X}{X} 100 \%.$$

12. Определяем промахи и исключаем их. Отклонения, большие по величине, чем выбранный интервал, считаются промахами. При малом числе измерений промахи сильно влияют на значения математического ожидания, поэтому измерения, для которых условия $X = X_{\text{cp}} \pm \Delta X$ не выполняются, отбрасываются.

Расчеты могут дать абсолютную погрешность ΔX как больше, так и меньше цены деления (B) средства измерения.

В случае когда $\Delta X > B$, величине абсолютной погрешности присваивают значения вычисленной погрешности.

Нормальным считается, когда вычисленная абсолютная погрешность не превышает значения, соответствующего от одного до трех значений цены деления средства измерения.

В случае когда $\Delta X < B$, величине абсолютной погрешности присваивается значение цены деления (B) или абсолютной погрешности самого средства измерения.

Математическая обработка результатов измерений позволяет с большей точностью проводить сравнительные исследования. При сравнительном исследовании объектов судебной экспертизы иногда необходимо ответить на вопрос о том, по каким основаниям можно считать различающимися два сравнительных объекта: по результатам измерения того или иного параметра (признака).

Обработка результатов измерений проводится на калькуляторах и компьютерах, в результате получаем длинный ряд цифр после запятой. Однако легко видеть, например, что запись $a = 1,745582 \pm 0,027$ бессмысленна. При ошибке 0,027 последние четыре цифры числа не означают ровно ничего. Если исследователь допускает ошибку в сотых долях, то тысячным, тем более десятитысячным долям веры нет. Грамотная запись результата была бы $1,75 \pm 0,03$. Всегда нужно производить необходимые округления, чтобы не было ложного впечатления о большей, чем это есть на самом деле, точности результатов.

Погрешность измерения округляют до первой значащей цифры, всегда увеличивая ее на единицу: $7,37 \approx 8$; $0,148 \approx 0,2$; $0,0752 \approx 0,08$; $0,00026 \approx 0,0003$.

Результаты измерения округляют с точностью до погрешности, т. е. последняя значащая цифра в результате должна находиться в том же разряде, что и в погрешности: $142,772 \pm 0,036 \approx 142,77 \pm 0,04$; $142,772 \pm \pm 3,6 \approx 143 \pm 4$; $2\,047 \pm 47 \approx 2\,050 \pm 50$.

Округление результата измерения достигается простым отбрасыванием цифр, если первая из отбрасываемых цифр меньше 5:

7,218 (округлить до десятых) $\approx 7,2$;

841,327 (округлить до целых) ≈ 841 ;

0,8413 (округлить до сотых) $\approx 0,84$.

Если первая из отбрасываемых цифр больше или равна 5 (а за ней одна или несколько цифр отличны от нуля), то последняя из остающихся цифр увеличивается на единицу:

6,2352 (округлить до сотых) $\approx 6,24$;

0,6510 (округлить до десятых) $\approx 0,7$;

158,521 (округлить до целых) ≈ 159 .

Если отбрасываемая цифра равна 5, а за ней нет значащих цифр (или стоят нули), то последнюю оставляемую цифру увеличивают на единицу, когда она нечетная, и оставляют неизменной, когда она четная:

0,315 (округлить до сотых) $\approx 0,32$;

0,325 (округлить до сотых) $\approx 0,32$;

175,500 (округлить до целых) ≈ 176 ;

176,500 (округлить до целых) ≈ 176 .

2.5. Виды и методы измерений. Средства измерений и их характеристики

Проведение измерений является важным этапом многих видов криминалистических исследований. Использование экспертом измерительных средств (инструменты, приборы) расширяет возможности чувственного восприятия физических явлений.

Измерение включает следующие элементы: объект, единицы измерения, технические средства, проградуированные в выбранных единицах, метод, наблюдателя, воспринимающего измерения, и окончательный результат.

Выделяют следующие этапы измерения:

выбор измерительного средства (прибора) и метода, которые обеспечат необходимую точность результата;

установка прибора, которая включает в себя и проверку правильности его показаний (например, проверка весов по разновесу: показания стрелки должно соответствовать массе разновеса);

помещение объекта в прибор и отсчет по имеющемуся на приборе масштабу – в результате получают значение измеряемой величины;

обработка результатов измерения.

В метрологии существует множество видов измерений, и число их постоянно увеличивается. РМГ 29–99 вводят понятие «**область измерений**» как совокупность измерений физических величин, свойственных какой-либо области науки или техники и выделяющихся своей спецификой. Выделяют ряд областей измерений: механические измерения, оптические, электрические и магнитные, акустические, физико-химические, измерения ионизирующих излучений и т. д. **Видом измерений** названа часть области измерений, имеющая свои особенности и отличающаяся однородностью измеряемых величин. Например, линейно-угловое измерение, измерения времени и частоты, массы и силы и др. относятся к механическим измерениям; измерения электрического сопротивления, электродвижущей силы, электрического напряжения, магнитной индукции относятся к области электрических и магнитных измерений.

Виды измерений определяются физическим характером измеряемой величины, требуемой точностью измерения, необходимой скоростью измерения, условиями и режимом измерений и т. д.

Измерения можно классифицировать по различным основаниям:

по способу получения числового значения измеряемой величины: прямые, косвенные, совокупные, совместные;

числу измерений величины: однократные, многократные;

характеру результата измерений: абсолютные, допусковые (пороговые), относительные;

связи с объектом: бесконтактные, контактные;

цели измерений: контрольные, диагностические, прогностические, лабораторные и технические, эталонные и поверочные;

степени достаточности измерений: необходимые, избыточные;

в зависимости от условий измерений: равноточные, неравноточные.

Эксперты наиболее часто применяют **прямые измерения**: искомое значение величины находят из опытных данных путем экспериментального сравнения. Например, длину измеряют непосредственно линейкой, температуру – термометром, силу – динамометром. Уравнение прямого измерения: $Y = BX$, где B – цена деления средства измерения. Прямые измерения – это основа более сложных измерений.

В **косвенных измерениях** искомое значение величины находят на основании известной зависимости между искомой величиной и величинами, полученными прямыми измерениями. Здесь принципиальной особенностью является необходимость обработки (преобразования)

результатов вне прибора, с помощью калькулятора или компьютера, на бумаге (при прямых измерениях прибор выдает готовый результат). Например, прямыми измерениями определяют массу и объем жидкости, а затем рассчитывают плотность по формуле $\rho = \frac{m}{V}$ кг/м³.

Совокупные измерения осуществляются путем одновременного измерения нескольких одноименных величин. Искомое значение находят решением системы уравнений, получаемых в результате прямых измерений различных сочетаний этих величин. Примером является измерение внутреннего сопротивления источника тока. Для этого используется амперметр (A) и два калиброванных резистора (R_1, R_2) (рис. 10).

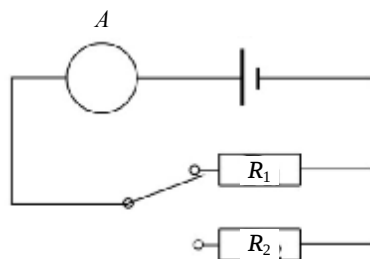


Рис. 10. Схема электрической цепи

Значение величины получено путем решения системы уравнений

$$\begin{cases} I_1 R_1 + I_1 r = E, \\ I_2 R_2 + I_2 r = E, \end{cases}$$

где E – электродвижущая сила источника постоянного напряжения, В; R – сопротивление внешней цепи, Ом; I – сила тока, А; r – внутреннее сопротивление источника, Ом.

Решение системы:

$$r = \frac{I_1 R_1 - I_2 R_2}{I_2 - I_1}.$$

Совместные измерения – это производимые одновременно прямые или косвенные измерения двух или нескольких разноименных величин для определения функциональной зависимости между ними, например одновременные измерения изменения температуры образца испытываемого материала и соответствующего приращения его длины

для нахождения температурного коэффициента линейного расширения с последующей математической обработкой полученных результатов измерений.

Однократные измерения – это обычные измерения, выполненные один раз, например измерение расстояния между объектами на месте происшествия.

При **многократных измерениях** проводят измерения какой-либо физической величины одного и того же размера несколько раз. В результате таких измерений получают ряд значений физической величины однократных измерений, например определение массы микрочастицы на аналитических весах с последующей математической обработкой полученных результатов.

Если прямые измерения фиксируют определяемый параметр физической величины каким-либо средством измерений, то это **абсолютные измерения**, например определение длины в метрах. А если средство измерений фиксирует лишь отклонение параметра от установочного значения, то это **относительное измерение**.

Другие виды измерений особых пояснений не требуют. Приведенные виды измерений включают способы решения измерительной задачи с теоретическим обоснованием и разработкой использования средства измерений по принятой методике выполнения измерений. Таким образом, любой процесс измерения представляет собой тот или иной прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с величиной, воспроизводимой средством измерений.

Метод измерений – прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений.

Принцип измерений – это совокупность физических явлений, на которых основаны измерения. Например, температуру можно измерять платиновым термометром (принцип измерения – зависимость сопротивления платины от температуры) и термоэлектрическим термометром (принцип измерения – зависимость электродвижущей силы от разности температур).

Так как в экспертной практике широко применяются прямые измерения, рассмотрим **методы прямых измерений**.

Метод непосредственной оценки – это такой метод измерений, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора, например измерение температуры ртутным термометром, определение времени по часам, определение длины по линейке. К средствам измерений, в основу работы которых положен метод непосредственной оценки, относятся

приборы различных видов: манометры, весы, амперметры, расходомеры, барометры и др. Достоинствами этого метода являются быстрота получения результата измерения, возможность непосредственного наблюдения за изменениями измеряемой величины.

Метод сравнения с мерой – это общее название методов измерений, при которых измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой, при этом погрешность результата измерений обусловлена в основном незначительной погрешностью меры. К таким методам, в частности, относятся дифференциальный метод измерений, нулевой метод измерений, метод замещения, метод совпадений. Данные методы часто рассматриваются как самостоятельные методы измерений.

Дифференциальный (разностный) метод – метод измерений, в котором определяют разность между измеряемой и известной физическими величинами. Известную величину чаще всего воспроизводят при помощи меры. Этот метод не нашел применения в экспертной практике и используется в основном при поверке средств измерений, например мер длины сравнением с образцовой мерой на компараторе, а также при испытаниях материалов и изделий, основанных на сравнении их с образцами.

В области линейных измерений дифференциальный метод называется относительным методом.

Нулевой (компенсационный) метод – метод, в котором на нулевой прибор воздействует сигнал, пропорциональный разности измеряемой и известной величин, причем эту разность доводят до нуля, например измерение электрических величин (электродвижущая сила, электрическое сопротивление, емкость и т. д.) с применением потенциометров и измерительных мостов.

Нулевой прибор (нуль-индикатор) – прибор для обнаружения неравенства сравниваемых величин при нулевом методе измерений. В качестве нулевых приборов выступают гальванометры, электронно-лучевые трубки и другие устройства.

Метод замещения – метод сравнения с мерой, в которой измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины, например взвешивание на рычажных весах с поочередным помещением измеряемой массы и гирь на одну и ту же чашку весов.

Метод совпадений – это метод, в котором разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют по совпадению отметок шкал или периодических сигналов. На этом методе основано, например, измерение размера объекта инструментами с нониусами, при которых наблюдают совпадение отметок шкал штанги и нониуса.

Рассмотренные методы в соответствии с РМГ 29–99 относятся к числу основных методов измерений.

Средство измерений представляет собой техническое устройство, предназначенное для измерений и имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимается неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного временного интервала.

Метрологическими характеристиками называют характеристики средства измерений, оказывающие влияние на результат и погрешность измерения и позволяющие судить об их пригодности для измерений в известном диапазоне с известной точностью. Метрологические характеристики входят в состав технических характеристик, определяющих свойства средств измерений (например, диапазон частот, вид электропитания). **Нормированные метрологические характеристики** – это количественное задание определенных номинальных значений и допустимых отклонений от этих значений. Нормирование метрологических характеристик позволяет оценить погрешность измерений, обеспечить возможность сравнения средств измерений между собой и оценку погрешностей измерительных систем и установок на основе метрологических характеристик входящих в их состав средств измерений. Именно нормирование метрологических характеристик отличает средства измерений от других подобных технических средств (например, измерительный и силовой трансформатор). Приборы или вещества, не имеющие нормированных метрологических характеристик, называют индикаторами. Например, лакмусовая бумага выступает в качестве индикатора при химических реакциях; в области измерений ионизирующих излучений индикатор часто дает световой и (или) звуковой сигнал о превышении порогового значения уровня радиации.

В метрологии средства измерения принято классифицировать по виду, метрологическому назначению и принципу действия.

По виду средства измерений подразделяются на меры, измерительные устройства, которые, в свою очередь, подразделяются на измерительные приборы, измерительные преобразователи, измерительные установки, измерительные системы.

Мера – это средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. К мерам относят гири, концевые меры длины, нормальные элементы (меры электродвижущей силы).

Меры, воспроизводящие физическую величину одного размера (например, гиря, плоскопараллельная концевая мера длины), называ-

ются *однозначными*. Меры, воспроизводящие ряд одноименных величин различного размера (например, линейка с миллиметровыми делениями), называются *многозначными*. Широкое применение находят наборы мер. *Набор мер* – специально подобранный комплект мер, применяемый не только по отдельности, но и в различных сочетаниях с целью воспроизведения ряда одноименных величин различного размера (например, разновесы, набор мерных колб, магазин активных сопротивлений как набор резисторов).

Измерительный прибор – средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Выработка измерительной информации может основываться на использовании различных физических принципов. Например, для измерения длины применяют механические, оптические, пневматические и электрические измерительные приборы. По виду выдаваемой информации все приборы делятся на аналоговые и цифровые. Аналоговым является измерительный прибор, показания которого представляют собой непрерывную функцию измеряемой величины, например стрелочный вольтметр. Цифровым называется измерительный прибор, автоматически вырабатывающий дискретные сигналы измерительной информации, показания которого представлены в цифровой форме, например цифровой омметр. По способу выдачи измерительной информации измерительные приборы делятся на показывающие и регистрирующие. Результаты измерений выдаются отсчетными устройствами приборов (шкала, цифровые устройства). Например, секундомер – для измерения времени, жидкостный термометр – для измерения температуры.

Для измерительных приборов обязательно должны быть нормированы цена деления шкалы, пределы шкалы аналоговых приборов; выходной код, число его разрядов; номинальная цена единицы наименьшего разряда кода для цифровых приборов. Нормируются и другие характеристики, оказывающие влияние на результат измерения.

Измерительный преобразователь – средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем. Принцип его действия основан на различных физических явлениях. Такие средства измерений преобразуют любые физические величины X (электрические, неэлектрические, магнитные) в выходной электрический сигнал $Y = f(X)$. Измерительные преобразователи являются составными частями измерительных приборов, установок и систем. Они могут быть встроены в корпус прибора и вместе с другими

его устройствами образовать единую конструкцию, но могут быть и конструктивно обособленными элементами.

Измерительная установка – совокупность функционально объединенных средств измерений (меры, измерительные приборы, измерительные преобразователи) и вспомогательных устройств, предназначенных для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем и расположенной на одном месте, например термопара и милливольтметр.

Измерительная система – совокупность средств измерений и вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и (или) использования в автоматических сигналах управления.

Средства измерений могут находиться в разных местах, а передача измерительной информации – осуществляться по специальным каналам связи. Измерительные системы широко используются для автоматизации технологических процессов в различных отраслях промышленности, сельского хозяйства и энергетики.

С развитием вычислительной техники, совершенствованием измерительных систем открываются возможности для перехода на автоматизированную технологию во многих отраслях народного хозяйства. В этом случае управление технологическим процессом берет на себя вычислительно-измерительный комплекс, включающий широко разветвленную измерительную систему, функционально связанную с ЭВМ. Таким образом, измерительная информация, вырабатываемая измерительной системой, является основой для автоматизации технологических процессов.

По метрологическому назначению средства измерений делят на эталоны, образцовые и рабочие.

Чтобы обеспечить единство измерений, необходима тождественность единиц, в которых проградуированы все средства измерений одной и той же физической величины. Для этого применяют средства измерений, хранящие и воспроизводящие установленные единицы физических величин и передающие их соответствующим средствам измерений. Высшим звеном в метрологической передаче размеров единиц являются эталоны.

Эталон единицы – средство измерений (или комплекс средств), обеспечивающее воспроизведение и (или) хранение единицы с целью передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений, выполненное по особой спецификации и официально утвержденное в установленном порядке в качестве эталона.

Эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью, называется *первичным*. *Специальный эталон* воспроизводит единицу в особых условиях и заменяет при этих условиях первичный эталон.

Первичный или специальный эталон, официально утвержденный в качестве исходного эталона для страны, называется *государственным*.

В метрологической практике широко используют вторичные эталоны, значения которых устанавливаются по первичным эталонам. Вторичные эталоны являются частью подчиненных средств хранения единиц и передачи их размера. Они создаются и утверждаются в тех случаях, когда это необходимо для обеспечения наименьшего износа государственного эталона. Вторичные эталоны по своему назначению делятся на эталоны-копии, эталоны-свидетели, эталоны сравнения и рабочие эталоны.

Эталон-копия предназначен для передачи размеров единиц рабочим эталонам. Он не всегда является физической копией государственного эталона.

Эталон-свидетель предназначен для проверки сохранности государственного эталона и для замены его в случае порчи или утраты.

Эталон сравнения применяют для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличаемы друг с другом (например, так называемый нормальный элемент, используемый для сличения государственного эталона Вольты с эталоном Вольты Международного бюро мер и весов).

Рабочий эталон применяют для передачи размера единицы образцовым средствам измерений высшей точности, а в отдельных случаях – наиболее точным средствам измерений.

Передача размеров единиц от эталонов рабочим мерам и измерительным приборам осуществляется посредством *образцовых средств измерений*. Образцовые средства измерений представляют собой меры, измерительные приборы или измерительные преобразователи, предназначенные для поверки и градуировки по ним других средств измерений. Они в установленном порядке утверждаются в качестве образцовых. Образцовые средства измерений хранят и применяют органы государственной метрологической службы и органы отраслевых (ведомственных) метрологических служб. Все образцовые средства измерений подлежат обязательной периодической поверке в сроки, устанавливаемые правилами госстандарта. Специфичность образцовых средств измерений заключается именно в их метрологическом назначении – эти средства измерений используются только в процедурах передачи размеров единиц. С целью обеспечения долговременной ста-

бильности метрологических свойств образцовых средств измерений использовать их в других целях запрещается.

Рабочие средства измерений применяются для измерений, не связанных с передачей размера единиц физических величин. Они предназначены для измерений размеров величин, необходимых в разнообразной деятельности человека. Рабочие средства измерений – это многообразие мер, измерительных приборов, преобразователей, измерительных установок и систем, применяемых во всех областях деятельности человека. Каждое средство измерения должно применяться только по своему прямому назначению. Не разрешается применять рабочие средства измерений для проведения поверочных работ; точно так же запрещается использование образцовых средств (эталонов) для измерений, не связанных с поверкой.

В основу *классификации средств измерений по принципу действия* положен физический принцип, используемый для преобразования измеряемой величины или сигнала измерительной информации. Например, измерительный микроскоп относится к оптико-механическим приборам, индуктивный или резистивный преобразователь – к электрическим средствам измерений. Сложные приборы с длинной измерительной цепью обычно характеризуют одним или двумя наиболее важными принципами преобразования (например, лазерный интерферометр, фотоэлектрический угломер).

Принцип действия обычно находит отражение в названии средства измерений (например, термоэлектрический термометр, деформационный манометр, электромагнитный расходомер). Количество принципов действия чрезвычайно велико и непрерывно увеличивается по мере использования для измерений новых физических явлений и их сочетаний.

Возможности использования средств измерений, а также их точностные свойства определяются метрологическими характеристиками.

Метрологические характеристики средств измерений по межгосударственному стандарту ГОСТ 8.009–84 «Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений» (введен в действие на территории Республики Беларусь 17 декабря 1992 г. постановлением Комитета по стандартизации, метрологии и сертификации при Совете Министров Республики Беларусь от 17 декабря 1992 г. № 3) делят на следующие группы:

характеристики, предназначенные для определения результатов измерений (без введения поправки). Такие метрологические характеристики можно назвать номинальными;

характеристики погрешностей средства измерений;

характеристики чувствительности средства измерений к влияющим величинам, которые тоже можно отнести к характеристикам погрешностей;

динамические характеристики средства измерений;

неинформативные параметры выходного сигнала средства измерений (предпочтительно рассматривать неинформативные параметры сигнала измерительной информации).

Названы также характеристики средств измерений, отражающие их способность влиять на инструментальную составляющую погрешности измерений вследствие взаимодействия средств измерений с любым из подключенных к их входу или выходу компонентов (таких, как объект измерений, средство измерений и т. п.).

В практике применения средств измерений широко используется выражение «класс точности». Это характеристика, зависящая от способа выражения пределов допускаемых погрешностей средств измерений. Впервые она была введена в 30-х гг. прошлого века применительно к стрелочным приборам и определяла основную погрешность средств измерений (погрешность средств измерений в нормальных условиях). Введение класса точности преследовало цель классификации средств измерений по точности. Эта характеристика была удобной и для приборостроителей, так как позволила четко стандартизировать измерительные приборы в виде регламентированных рядов классов точности. Такое представление в то время было оправданно, и характеристикой «класс точности» можно было руководствоваться при выборе средств измерений, ориентировочной оценке точности измерений и т. д.

В настоящее время, когда схемы и конструкции средств измерений усложнились, а области применения средств измерений весьма расширились, на погрешность измерений стали существенно влиять и другие факторы, в частности изменения внешних условий (температура окружающей среды, механические нагрузки на средства измерений и т. д.), характер изменения измеряемых величин во времени. Основная погрешность измерительных приборов перестала быть действительно основной составляющей погрешности измерений, и класс точности не позволяет в полной мере решать практические задачи, перечисленные выше. Область практического применения характеристики «класс точности» ограничена только такими средствами измерений, которые предназначены для измерения статических величин. В международной практике класс точности устанавливается только для небольшой части приборов. Требования к назначению, применению и обозначению классов точности регламентированы ГОСТ 8.401–80 «ГСИ. Классы точности средств измерений. Основные положения». Этот стандарт гармонизирован с международными рекомендациями.

Метрологическое обеспечение средств измерений зависит от сферы их использования. Сферы распространения государственного метрологического контроля и надзора приведены в Законе «Об обеспечении единства измерений» (ст. 16).

В сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора используемые типы средств измерений должны быть утверждены и включены в Государственный реестр средств измерений, который ведет БелГИМ. На средство измерений утвержденного типа и на эксплуатационные документы наносится знак утверждения типа установленной формы и выдается сертификат. Средства измерений при эксплуатации должны подвергаться периодической поверке органами государственной метрологической службы или аккредитованными метрологическими службами юридических лиц. На поверенное средство измерений наносится клеймо и выдается свидетельство установленной формы. Перечни средств измерений, подлежащих поверке, составляются метрологическими службами юридических лиц и направляются в органы государственной метрологической службы. При осуществлении Государственного метрологического надзора контролируются правильность и полнота этих перечней, а также состояние и применение средств измерений.

При выборе того или иного средства измерения в экспертных исследованиях учитывают такие параметры, как предел измерений, цена деления, класс точности, принцип действия.

Предел измерений (A_m) – наибольшее или наименьшее значение измеряемой величины, которое может быть зафиксировано с помощью данного средства измерения (например, для лабораторных весов модели Т-200 м предел 200 г, медицинского термометра – 42 °С). Для удобства использования изготавливаются многопредельные технические средства измерений, при этом изменение предела измерений осуществляется переключателями. Типичным примером многопредельного технического средства является тестер для измерения электрических величин.

Цена деления (B) показывает, сколько единиц измеряемой величины укладывается в одном делении шкалы. При производстве средств измерений цену деления устанавливают примерно равной абсолютной погрешности измерения ΔX . Отсюда следует, что чем меньше класс точности, тем больше делений N в шкале. Цена деления технического средства измерения для каждого предела измерения определяется по формуле

$$B = \frac{A_m}{N}.$$

Например, $B = 0,01$ г в весах.

Класс точности (γ_n) – максимально допустимое для данного средства измерения при нормальных условиях эксплуатации значение погрешности. Например, для штриховых средств измерений класс точности задается абсолютной погрешностью: для линейек до 300 мм $\Delta X = \pm 0,1$ мм, до 500 мм $\Delta X = \pm 0,15$ мм и т. д.

Класс точности стрелочных средств измерений определяется по допускаемой основной относительной погрешности, значение которой выбирается (ГОСТ 8.401–80) из ряда отвлеченных положительных чисел: $1 \cdot 10^n$; $1,5 \cdot 10^n$; $2 \cdot 10^n$ ($n = 1, 0, -1, -2$ и т. д.).

Приведенная относительная погрешность γ_n определяется по формуле

$$\gamma_n = \left(\frac{\Delta X}{A_n} \right) \cdot 100 \%,$$

где A_n – нормирующий множитель, значение которого приравнивается к пределу измерения технического средства измерения.

При поверке более точное средство измерения выбирают так, чтобы класс точности был меньше класса точности проверяемого средства измерения на две ступени. Например, для поверки прибора с классом точности 1,5 % проверяющее средство измерения имеет класс точности не более 0,5 %.

Принцип действия (измерений) учитывает классификацию систем измерительных механизмов. Систему средства измерения нужно знать для анализа при выявлении систематической погрешности. Например, термометр сопротивления точнее для измерения температуры, чем жидкостные термометры.

2.6. Измерения линейных, угловых величин, массы и других параметров

Линейные измерения заключаются в определении расстояния между двумя точками. Определение расстояния между объектами, линейных размеров объектов, их элементов, расположения следов и т. д. судебные эксперты постоянно проводят как при производстве экспертиз, так и при осмотре мест происшествий, где они выступают в качестве специалистов. К средствам измерений линейных размеров относятся *измерительные (масштабные) линейки, рулетки, метры, штангенциркули, микрометры* и т. д.

Для измерения линейных размеров объектов при выполнении экспертиз и на месте происшествия, как правило, применяются линейки и

рулетки. Точность, с которой производятся измерения с помощью данных средств, невелика, но отвечает требованиям практики. В настоящее время выпускают измерительные линейки и рулетки различных конструкций, например:

металлические измерительные линейки с пределами измерений 150, 300, 500, 1 000, 1 500, 2 000, 3 000 мм. Линейки изготавливают с одной шкалой делений, двумя шкалами, а также с двумя шкалами, оцифровка которых направлена в противоположные стороны (рис. 11). К измерительным линейкам относятся и складные метры (рис. 12). Складной метр состоит из отдельных линейек, скрепленных по краям поворотными механизмами, чаще всего просто заклепками. Производя измерения, надо следить за тем, чтобы складной метр был полностью открыт на нужную длину и вытянут в прямую линию;

рулетки с номинальными шкалами длины 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 100 м (рис. 13). Ленты таких рулоков обычно изготавливаются из нержавеющей или углеродистой стали.

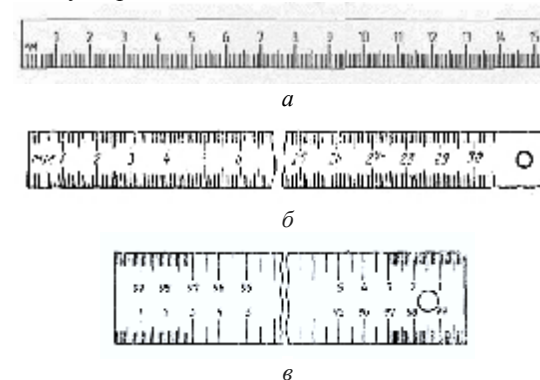


Рис. 11. Измерительная линейка:

a – с одной шкалой; *б* – с двумя шкалами; *в* – с двумя шкалами, оцифровка которых направлена в противоположные стороны



Рис. 12. Складной метр



Рис. 13. Измерительная рулетка:
а – на 5 м; б – 10 м

Для измерения больших расстояний удобно пользоваться *лазерной рулеткой* (рис. 14). Принцип ее действия основан на измерении пути отраженного лазерного луча. Для измерений требуется объект, от которого будет отражаться луч. Поэтому часто такие измерения проводят два человека: один работает с лазерной рулеткой, а второй держит отражающий предмет, например лист бумаги, на определенном расстоянии.



Рис. 14. Лазерная рулетка

Измерения с помощью линейки, метра и рулетки достаточно просты. Начало шкалы измерительного инструмента (цифра «0») или торцовая часть совмещаются с краем измеряемого предмета, а размер определяется по тому штриху шкалы, который совпадает с другим краем. Таким образом, для линейных измерений необходимо установить две точки и определить между ними расстояние. Эти точки называют базисными. Как правило, они определяются достаточно быстро, но в некоторых случаях, например при определении длины микрочастиц, имеющих неправильную геометрическую форму, эта задача достаточно сложна. При измерении внутреннего диаметра цилиндрического объекта ребро линейки должно пересекать центр окружности и край линейки не должен смещаться ниже кромки отверстия. Точность измерения зависит не только от величины цены деления линейки, но и от правильности самой техники измерения. Глаз наблюдателя должен находиться на одной прямой линии с отметкой шкалы линейки и точкой на измеряемом объекте,

от которой ведется отсчет (а потом – на которой заканчивается отсчет). При этом данная прямая линия должна быть перпендикулярной к плоскости объекта. В противном случае возможны ошибки (рис. 15). Например, при толщине линейки в 2 мм и отклонении точки наблюдения от вертикали на 15° ошибка достигает 0,5 мм.

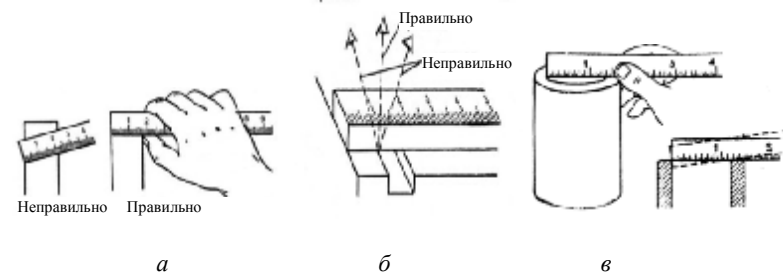


Рис. 15. Техника измерений линейкой:

а – правильное и неправильное измерение; б – правильное и неправильное расположение глаза наблюдателя при проведении измерения; в – измерение внутреннего диаметра цилиндрического объекта

В экспертной практике часто возникает необходимость определить размеры объектов на фотоснимках. Фотоснимки являются плоскими объектами. И здесь эксперты используют измерительные (маштабные) линейки, циркуль-измеритель и кронциркуль (рис. 16). Без данных инструментов нельзя обойтись, например, при исследовании следов шин, когда эксперту приходится пользоваться соответствующими справочными материалами для определения абсолютных размеров деталей рисунка протектора шины.

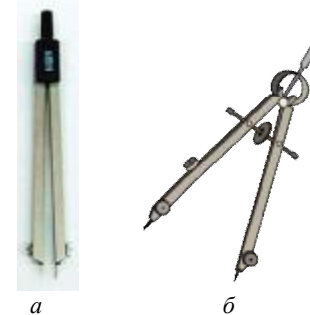


Рис. 16. Инструменты для измерений на плоских объектах:
а – циркуль-измеритель; б – кронциркуль

Циркуль-измеритель состоит из двух шарнирно связанных ножек, заканчивающихся иглами. При работе необходимо следить, чтобы ножки циркуля-измерителя хорошо фиксировались в положении, соответствующем измеряемой величине. Если ножки фиксируются плохо, то при перемещении циркуля от измеряемого объекта к линейке они могут изменить свое положение (сдвинуться или раздвинуться), что приведет к погрешности.

Лишен этих недостатков *кронциркуль*. Он снабжен установочным винтом и кольцевой пружиной, под действием которой ножки кронциркуля стремятся разойтись, но удерживаются гайкой установочного винта. Вращением гайки винта можно сдвигать и раздвигать ножки кронциркуля.

Линейные измерения с точностью до десятых долей миллиметра могут быть произведены с использованием *поперечного масштаба* (рис. 17), который является составной частью транспортира. Измерения проводят, используя циркуль-измеритель или кронциркуль.

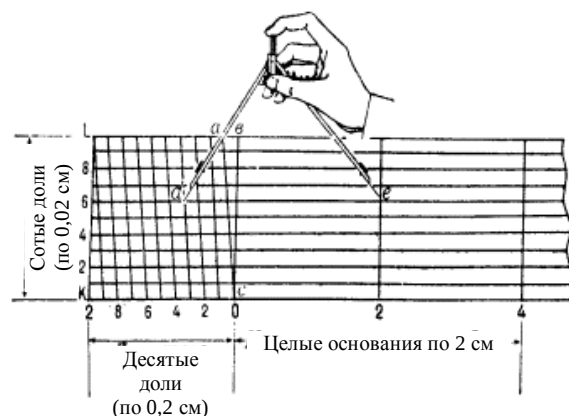


Рис. 17. Определение линейного размера с использованием поперечного масштаба

Ножки циркуля-измерителя раздвигают соответственно размеру измеряемой величины, затем, не изменяя положения ножек, ставят их на поперечный масштаб, чтобы игла правой ножки находилась на нулевом или другом (2, 4, 6 и т. д.), находящемся справа от нуля перпендикуляре, а левая ножка – слева от нуля. Обе ножки циркуля-измерителя должны находиться на одной из горизонталей и в таком положении, чтобы острие правой иглы кронциркуля располагалось в

точке пересечения горизонтали и вертикали, а острие левой ножки – в точке пересечения горизонтали с наклонной линией. Этого добиваются перемещением циркуля сверху вниз по вертикальной линии до тех пор, пока его левая ножка не совместится с точкой пересечения горизонтальной линии с одной из наклонных. Измеряемая величина будет равна сумме десятков миллиметров (нижняя шкала поперечного масштаба справа от нуля), единиц миллиметров (нижняя шкала поперечного масштаба слева от нуля) и десятых долей миллиметра (левая вертикальная шкала масштаба).

Более высокую точность имеют инструменты с нониусом, так называемые *штангенинструменты*. К ним относятся *штангенциркули*, служащие для измерения наружного и внутреннего диаметра, длины, толщины объектов, следов на объекте; *штангенглубиномеры*, предназначенные для измерения глубины глухих отверстий, измерения канавок, пазов, выступов.

Среди штангенинструментов наиболее широкое применение имеют штангенциркули. Они бывают трех типов: ШЦ-I (пределы измерений 0–125 мм и величина отсчета 0,1 мм и 0,05 мм) (рис. 18); ШЦ-II (пределы измерений 0–200 и 0–320 мм, величина отсчета 0,05–0,1 мм); ШЦ-III (пределы измерений 0–500, 250–710, 320–1 000, 500–1 400, 800–2 000 мм; величина отсчета 0,1 мм).

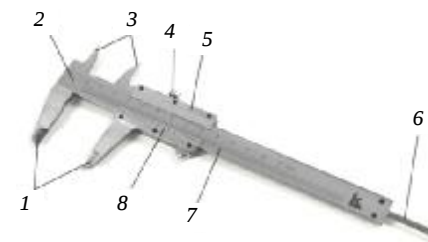


Рис. 18. Устройство ШЦ-I:

1 – губки (подвижная и неподвижная) с плоскими измерительными поверхностями для измерений наружных размеров; 2 – стальная штанга; 3 – губки (подвижная и неподвижная) с кромочными измерительными поверхностями для измерений внутренних размеров; 4 – зажимающий элемент; 5 – подвижная рамка с нониусом; 6 – глубиномер; 7 – шкала штанги; 8 – нониус

Нониус – это вспомогательная шкала, которая служит для более точного определения количества долей деления. Он делит целое число миллиметров основной шкалы (штанги) на определенное число частей. На рис. 19 представлен нониус с ценой деления 0,1 мм. Длина нониуса

в этом случае равна 19 мм и разделена на 10 частей. Одно деление (длина деления) нониуса равна 1,9 мм (19:10), что на 0,1 мм меньше целого числа миллиметров. При нулевом показании, когда совпадают нулевые штрихи штанги и нониуса, следующими совпадающими штрихами будут десятый штрих нониуса и штрих штанги, соответствующий значению 1,9 мм. Совпадения других штрихов не будет. При измерении штангенциркулем целые миллиметры отсчитываются непосредственно по шкале штанги до нулевого штриха нониуса, а дробные (в данном случае десятые) доли миллиметра – по нониусу. При этом дробная величина (количество десятых долей миллиметра) определяется умножением величины отсчета (0,1 мм) на порядковый номер штриха нониуса (не считая нулевого), совпадающего со штрихом штанги (рис. 20).



Рис. 19. Шкала штанги и нониус штангенциркуля



Рис. 20. Отчет показаний по нониусу штангенциркуля (результат – 4,2 мм)

В настоящее время эксперты применяют и *штангенциркули с электронной цифровой шкалой* (рис. 21).



Рис. 21. Штангенциркуль с электронной цифровой шкалой

В экспертной практике для наружных измерений редко, но используют *микрометры* (рис. 22). Наиболее распространенным является микрометр с ценой деления 0,01 мм, т. е. точность измерения с его помощью на порядок выше, чем у штангенциркуля. Эксперты обычно пользуются микрометрами, позволяющими производить измерения в пределах от 0 до 25 мм. Действие микрометра основано на перемещении винта вдоль оси при вращении его в неподвижной гайке. Перемещение пропорционально углу поворота винта вокруг оси. Полные обороты отсчитываются по шкале, нанесенной на стебле микрометра, а доли оборота – по круговой шкале, нанесенной на барабане.



Рис. 22. Микрометр:

а – общий вид; б – устройство: 1 – пятка; 2 – установочная мера; 3 – микрометрический винт; 4 – стебель; 5 – трещотка; 6 – барабан; 7 – стопор; 8 – скоба

Деления шкалы на стебле в миллиметрах, нанесенные снизу, разделены пополам штрихами над шкалой (т. е. две шкалы смещены друг относительно друга на 0,5 мм). Отсчет размера детали осуществляется суммированием открытого барабаном показания линейной шкалы и показания шкалы барабана. Например, микрометр имеет шаг 0,5 мм и 50 делений на барабане (т. е. цена деления этого микрометра 0,01 мм). Если острый срез барабана открывает 17 делений на нижней части линейной шкалы и продольная черта линейной шкалы указывает на 37-е деление барабана, то линейный размер объекта составляет $17,00 + 0,37 = 17,37$ мм (рис. 23, а). Если острый срез барабана открывает 13 делений на нижней части линейной шкалы и деление на верхней части шкалы, а продольная черта линейной шкалы указывает на 37-е деление барабана, то линейный размер данной детали составляет $13,00 + 0,50 + 0,37 = 13,87$ мм (рис. 23, б).



Рис. 23. Отсчет показаний по шкале микрометра

Современные микрометры снабжают электронной цифровой шкалой (рис. 24).



Рис. 24. Микрометр с электронной цифровой шкалой

Для измерения длин отрезков кривых и извилистых линий при производстве криминалистических экспертиз можно использовать *курвиметр* (дисковый масштаб) (рис. 25).



Рис. 25. Курвиметр механический

Курвиметр изготавливают с круговой и прямолинейной шкалами. Курвиметр каждого типа выпускается в двух исполнениях: с неподвижным циферблатом и подвижной стрелкой или индексом; с подвижным циферблатом и неподвижным индексом. Для измерения длины линии колесико курвиметра прокатывают по этой линии. Измеряемое курвиметром расстояние за один оборот соответствует длине шкалы в 100 см. Погрешность измерения отрезка прямой линии длиной не менее 50 см – не более 0,25 см.

В современных экспертных исследованиях часто возникает необходимость измерить толщину каких-либо покрытий, пленок, резины, пластмасс, стекла и т. д. В данных исследованиях удобно применять *толщинометры*. В зависимости от принципа действия и назначения толщинометры делятся на магнитные, вихретоковые и ультразвуковые.

Принцип действия магнитного толщиномера основан на так называемом эффекте Холла: при помещении объекта в магнитное поле в нем моментально возникает разность потенциалов. Магнитные толщинометры используются для измерения толщины стеклянных, пластиковых и алюминиевых емкостей, упаковочных материалов, композитных деталей и автомобильных панелей. Они активно используются и для измерения толщины немагнитных покрытий.

Принцип действия вихретоковых толщинометров основан на возбуждении вихревых токов в объекте контроля и последующей регистрации изменений поля этих токов, которые обусловлены изменением толщины. Они предназначены для измерения толщины материалов, которые не проводят электрический ток, и позволяют контролировать толщину резиновых изделий, пластмасс, стекла и покрытий, нанесенных на какое-либо металлическое основание.



Рис. 26. Ультразвуковой толщиномер AR850+

Ультразвуковые толщинометры (рис. 26) получили максимально широкое распространение. Принцип их действия заключается в контроле распространения ультразвуковых волн в объекте контроля. Ультразвуковые толщинометры активно используются при контроле толщины резины, стенок труб, металлопроката и лакокрасочных покрытий. Они дают возможность в очень короткий промежуток времени (не более 3 с) контролировать толщину металла и покрытия.

В экспертных исследованиях большое количество измерений длин производится при помощи *луп* и *микроскопов*.

Во многих случаях в судебных экспертизах проводят **измерения угловых величин**. Это измерения угловых величин между отдельными анатомическими точками в портретной экспертизе, угла разворота ступней ног в дорожке следов в трасологии, угла наклона следов полей нарезов на фоторазвертке следов на пуле в баллистической экспертизе и т. д.

Углом в плоскости называется геометрическая фигура, образованная двумя лучами, выходящими из одной точки. В Международной системе единиц единицей измерения плоского угла является радиан. Радиан – это угол между двумя радиусами круга, вырезающий на окружности дугу, длина которой равна радиусу.

В экспертной практике используют не радианную, а градусную меру угла.

При обозначении угловых размеров используют такие единицы измерения, как угловой градус ($1^\circ = 1/360$ окружности), угловая минута ($1' = 1/60^\circ$), угловая секунда ($1'' = 1/60'$).

При радианной мере следует исходить из того, что $1 \text{ рад} = 360^\circ/2\pi = 57^\circ 17' 44''$, $8 = 3 \text{ } 437' 45'' = 206 \text{ } 265''$.

При производстве экспертиз, когда необходимо установить угловые величины исследуемых объектов, используются транспортиры, угломеры с нониусом, инструментальные микроскопы.

Транспортир состоит из полукруглой шкалы и основания линейки. Шкала транспортира (лимб) разделена на 180 частей, каждая из которых равняется одному угловому градусу. Отсчет производится по углу между линейкой и линией, проходящей через центр окружности. Транспортиры бывают с градусной и радианной шкалами (рис. 27) и только с радианной шкалой.



Рис. 27. Транспортир

Угломер – измерительный прибор, который применяется для вычисления всевозможных углов в разных конструкциях, деталях, между объектами, удаленными друг от друга.

В угломере лимб (шкала) также неподвижно соединен с линейкой, имеющей измерительную плоскость. Вторая линейка с измерительной плоскостью вращается на оси вокруг первой таким образом, что величина угла между измерительными плоскостями отсчитывается по лимбу (рис. 28, а). В некоторых конструкциях угломеров для увеличения точности измерения угла (до 2–5′) подвижная линейка,двигающаяся вдоль лимба, связана с нониусом (рис. 28, б).



Рис. 28. Угломер:
а – простой; б – с нониусом

Угловые измерения при исследованиях малых по величине объектов могут быть произведены с помощью микроскопов, имеющих шкалу отсчета поворота предметного столика.

Масса является одной из характеристик объектов судебной экспертизы. Единица массы – килограмм, однако в практике нередко пользуются и дольной единицей – граммом.

Очень часто неправильно полагают, что взвешивая тело на весах, определяют вес объекта. Однако это не так.

Масса – это свойство тела, определяющее его инертность. Вес же – это сила, с которой тело притягивается к Земле, давит на опору или

растягивает нить, на которой оно подвешено: $P = mg$, m – величина постоянная, P (вес) – переменная, так как ускорение свободного падения (g) в разных точках Земли разное.

Для определения массы используют *весы*. В Республике Беларусь экспертные подразделения оснащены механическими, электромеханическими и электронными весами различной конструкции и различных производителей. Популярность получили весы таких известных производителей, как «Сарториус» (Германия), «Меттлер-Толедо» (Швейцария) (рис. 29), «Госметр» (Россия).



Рис. 29. Лабораторные весы:

а – аналитические весы CPA26P (Sartorius); б – весы ED153 (Sartorius);
в – аналитические весы MS (Mettler Toledo)

В механических и электромеханических весах процесс взвешивания заключается в сравнении взвешиваемого груза с системой встроенных гирь и пружин, а также внешних гирь с помощью индикатора положения равновесия; в электронных весах – в сравнении взвешиваемого груза и эталонного груза калибровки, значение которого сохраняется в памяти электронного блока весов.

Все лабораторные весы должны отвечать метрологическим требованиям. Это точность взвешивания, устойчивость, чувствительность и постоянство показаний. Точность взвешивания – это свойство весов давать точные показания при измерениях массы тел с отклонениями от истинного значения, находящимися в пределах погрешности. Величина погрешности приводится в паспортах. Устойчивость весов – способность их самостоятельно возвращаться в первоначальное положение при выведении из состояния равновесия. Чувствительность весов – это способность их выходить из состояния равновесия при самом незначительном увеличении или уменьшении нагрузки в точках приложения. Чувствительность весов должна быть такой, чтобы изменение массы тела на величину, равную допустимой погрешности, вызвало отклонение показателя равновесия. Постоянство показаний – это способность весов давать одинаковые показания при многократном взвешивании одного и того же тела.

ОСНОВЫ ОПТИКИ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Твердость материала (металл, сплав металла) – это способность поверхностного слоя материала сопротивляться пластической или упругой деформации или разрушению при внедрении в него другого, более твердого тела (индентора). Индентор представляет собой стальной шарик, алмазный конус, пирамиду или иглу. По размерам получаемого на поверхности отпечатка судят о твердости материала. В СИ за единицу измерений твердости принят ньютон на метр квадратный (Н/м^2) или паскаль (Па).

Применение того или иного метода измерений твердости металла обусловлено механическими свойствами металлов и конструктивно-технологическими особенностями изделий. Методы измерений твердости делят на две группы в зависимости от вида движения индентора: статические методы и динамические. Наибольшее распространение получили статические методы определения твердости. При статическом методе индентор медленно и непрерывно вдавливается в испытуемый металл с определенным усилием. К таким методам относят измерение твердости по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу.

Твердость, определенная по любому методу, является величиной безразмерной и обозначается символом. Количественно твердость, измеренная по Бринеллю, характеризуют числом твердости и обозначают символом HB, по Роквеллу – HR, по Виккерсу – HV и т. д.

При производстве судебной экспертизы холодного оружия твердость металла клинка измеряют по методу Роквелла. В методе Роквелла в зависимости от формы индентора и прилагаемой нагрузки введены три измерительные шкалы: А, В, С. В экспертизе холодного оружия используют шкалу С, поэтому полученная величина твердости записывается цифрами и обозначается символом HRC. Определение твердости клинков производится на *твердомерах* (рис. 30) в соответствии с ГОСТ 9013–59 и со стандартами ИСО 2039/2–81, DIN 50103, ASTM E 18-74. На рынке представлено множество разнообразных по конструкции и техническим характеристикам таких приборов.



Рис. 30. Приборы для измерения твердости по методу Роквелла:

а – твердомер TP-5014; б – твердомер TP-5014-01; в – универсальный твердомер Instron Wilson Hardness RB2000

Основную часть информации человек получает через органы зрения, как правило, методом наблюдения. Все изображения формируются при воздействии света на наш зрительный аппарат. Благодаря действию света человек воспринимает зрительные образы предметов. В практической деятельности судебного эксперта метод наблюдения применяется во всех видах экспертиз. Например, при проведении сравнительных исследований любых объектов методом наблюдения выявляются общие и частные признаки и лишь после этого судебный эксперт использует другие методы – измерения, моделирования, инструментальные и т. д. При исследовании микрообъектов и микроследов он применяет всевозможные увеличительные приборы и осветители видимого, ультрафиолетового и инфракрасного излучения. Объекты и обстановка места происшествия фиксируются с помощью фотоаппарата и видеокамеры. Так как во всех данных приборах имеются оптические детали (линзы, светофильтры, призмы и т. д.), то изображения объектов строятся на законах оптики. Поэтому знания о природе света, его распространении, формировании изображений в оптических приборах, деталях, взаимодействии света с веществом необходимы судебному эксперту в профессиональной деятельности.

3.1. Основные законы оптики

Оптика (от греч. *optike* – наука о зрительных восприятиях) – раздел физики, в котором изучаются природа оптического излучения (света), его распространение и явления, наблюдаемые при взаимодействии света и вещества.

Оптическое излучение представляет собой электромагнитные волны, и поэтому оптика – часть общего учения об электромагнитном поле.

В зависимости от круга рассматриваемых явлений оптику принято подразделять на физическую (волновую), квантовую (корпускулярную), геометрическую (лучевую) и физиологическую.

Физическая оптика рассматривает проблемы, связанные с природой света и световых явлений. Утверждение, что свет есть поперечные электромагнитные волны, основано на результатах огромного числа экспериментальных исследований дифракции света, интерференции, поляризации света и распространения в анизотропных средах. Совокупность явлений, в которых проявляется волновая природа света, изучается в крупном разделе физической оптики – волновой оптике.

Одна из важнейших традиционных задач оптики – получение изображений, соответствующих оригиналам как по геометрической форме, так и по распределению яркости – решается главным образом геометрической оптикой с привлечением физической оптики.

Согласно современным представлениям свет имеет двойственную корпускулярно-волновую природу. В одних явлениях свет обнаруживает свойства волн, а в других – свойства частиц. Такие явления, как интерференция и дифракция света, можно объяснить, рассматривая свет как волны, распространяющиеся в пространстве. А такие явления, как тепловое излучение, фотоэффект и эффект Комптона, служат доказательством квантовых (корпускулярных) представлений о свете как о потоке фотонов.

Однако волновой и корпускулярный способы описания света не противоречат, а взаимно дополняют друг друга, так как свет одновременно обладает и волновыми и корпускулярными свойствами. В настоящее время установлено, что корпускулярно-волновая двойственность свойств присуща также любой элементарной частице вещества. Например, обнаружена дифракция электронов и нейтронов.

В 60-х гг. XIX в. Дж.К. Максвеллом были установлены общие законы электромагнитного поля, которые привели его к заключению, что свет – это электромагнитные волны.

Электромагнитное излучение (электромагнитные волны) – это распространяющееся в пространстве изменение состояния электромагнитного поля; электромагнитные колебания (волны), распространяющиеся в пространстве с максимальной в природе и конечной скоростью (рис. 31).

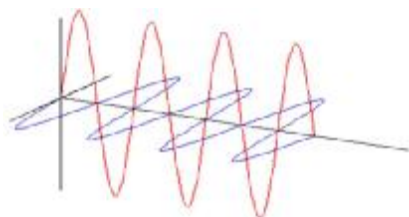


Рис. 31. Электромагнитная волна

К электромагнитному излучению относятся радиоволны (начиная со сверхдлинных), инфракрасное излучение, видимый свет, ультрафиолетовое, рентгеновское и гамма-излучение (табл. 7).

Таблица 7

Диапазоны электромагнитных излучений

Вид излучения	Длина волны, м	Частота, Гц
Радиоволны	$10^5 - 10^{-3}$	$3 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^{11}$
Инфракрасное излучение	$2 \cdot 10^{-3} - 7,6 \cdot 10^{-7}$ $\geq 760 \text{ нм}$	$3 \cdot 10^{11} - 3 \cdot 10^{14}$
Видимый свет	$3,8 \cdot 10^{-7} - 7,6 \cdot 10^{-7}$ 380 – 760 нм	$4,0 \cdot 10^{14} - 7,6 \cdot 10^{14}$
Ультрафиолетовое излучение	$3,8 \cdot 10^{-7} - 10^{-8}$ $10 \text{ нм} < \lambda < 380 \text{ нм}$	$7,6 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{17}$
Рентгеновское излучение	$10^{-8} - 3 \cdot 10^{-12}$	$3 \cdot 10^{17} - 3 \cdot 10^{20}$
Гамма-излучение	10^{-12} и меньше	$3 \cdot 10^{20} - 10^{23}$

В практике производства судебных экспертиз чаще всего используется оптический диапазон спектра, включающий ультрафиолетовое, видимое, инфракрасное и рентгеновское излучение.

Видимое излучение (видимый свет) – это электромагнитные волны, воспринимаемые человеческим глазом. Они занимают очень узкую часть спектра электромагнитных волн: длина волны от 380 нм (фиолетовый) до 650 нм (красный). Наибольшую чувствительность к свету человеческий глаз имеет в области 555 нм, в зеленой части спектра. Излучение с длиной волны $\geq 650 \text{ нм}$ называется инфракрасным. Инфракрасные лучи излучает любое нагретое тело. Излучение с длиной волны $10 \text{ нм} < \lambda < 380$ называется ультрафиолетовым. Ультрафиолетовые лучи обладают большой химической активностью. Еще меньше по сравнению с ультрафиолетовыми лучами длина рентгеновских волн. Они возникают при резком торможении электронов либо при высокоэнергетических переходах в электронных оболочках атомов или молекул. Коротковолновые излучения обладают большой проникающей способностью.

При распространении свет ведет себя как волна (рис. 32).

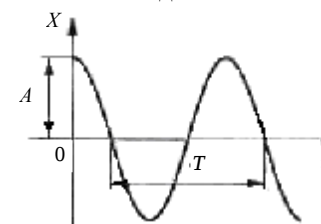


Рис. 32. График гармонического колебания

Процесс гармонического колебания описывается уравнением

$$X = A \sin(\varphi_0 + \omega t),$$

где A – амплитуда колебания, максимальное смещение от положения равновесия; φ_0 – начальная фаза, характеризует начальное состояние колебательной системы, т. е. координату, скорость движения, энергию и т. д.; ω – циклическая частота колебания, характеризует скорость изменения фазы колебаний.

Фаза колебаний $\varphi = \varphi_0 + \omega t$. Период колебания (T) – промежуток времени, в течение которого точка выполняет одно полное колебание, измеряется в секундах. Частота колебаний (ν) – число полных колебаний в единицу времени. Единицей частоты колебаний является герц (Гц) – одно колебание в секунду. Циклическая частота, частота и период колебаний соотносятся следующим образом: $\nu = 1/T$; $\omega = 2\pi\nu = 2\pi/T$.

Для света важной характеристикой является также длина волны (λ). Это расстояние, на которое распространяется колебание за время одного периода. Длина волны определяется по формулам

$$\lambda = VT, \lambda = cT,$$

где V – скорость распространения волны; c – скорость света.

$$T = 1/\nu, \text{ следовательно } \lambda = V/\nu \text{ или } \lambda = c/\nu.$$

Скорость распространения света в вакууме относится к числу универсальных постоянных, она равняется примерно $3 \cdot 10^8$ м/с.

Классическая волновая электромагнитная теория не в состоянии объяснить всю совокупность оптических явлений. Ряд экспериментальных данных, относящихся к явлениям взаимодействия света с веществом, например поглощение и излучение света, фотоэффект, фотохимические реакции, потребовали введения **квантовых представлений**. Согласно этим представлениям поглощение и излучение света происходят очень малыми порциями света – **квантами**. Еще в 1900 г. немецкий физик М. Планк высказал гипотезу, что излучение испускается телами не непрерывно, а в виде отдельных порций. Энергия каждой такой порции – кванта излучения – пропорциональна его частоте

$$E = h\nu,$$

где h – универсальная постоянная (постоянная Планка – $6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с).

Однако гипотеза Планка не сразу была признана. Считалось, что формула Планка представляет собой искусственный математический прием. Идеи Планка получили дальнейшее развитие в работах А. Эйнштейна, который в 1905 г. создал квантовую (фотонную) теорию света. Он высказал предположение, что дискретный характер имеют не только процессы излучения и поглощения света, но и сам свет. Эйнштейн ввел в физику представление о фотонах (световых квантах) как о само-

стоятельных частицах света с энергией $E = h\nu$. Энергия фотона прямо пропорциональна частоте излучения.

Это выражение связывает квантовые (E) и волновые (ν) характеристики света. Квантовый характер излучения проявляется наиболее ярко в коротковолновой части спектра. Таким образом, при поглощении и излучении свет ведет себя подобно потоку частиц.

Поскольку свет обладает одновременно как корпускулярными, так и волновыми свойствами, для объяснения одних явлений можно пользоваться представлениями о свете как о волнах (дисперсия, интерференция, дифракция, поляризация), а для объяснения других – как о потоке частиц (испускание, поглощение света).

Дисперсией света называют разложение полихроматического света (например, белого) на границе различных сред на отдельные составляющие (открыл И. Ньютон). Особенно хорошо наблюдается это при прохождении света сквозь трехгранную призму (рис. 33). Явление дисперсии вызвано тем, что сложный свет, состоящий из лучей с различной длиной волны, разлагается в спектр, так как они неодинаково преломляются. Наиболее сильно преломляются и отклоняются от первоначального направления фиолетовые лучи, меньше – красные.

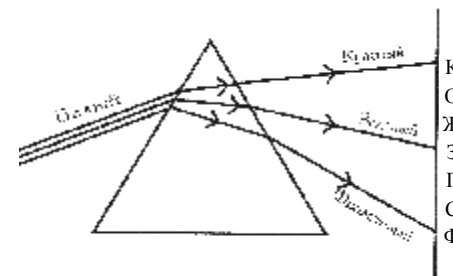


Рис. 33. Дисперсия света при прохождении его сквозь трехгранную призму

Дисперсия вещества (D) характеризуется быстротой изменения показателя преломления с изменением длины волны: $D = \Delta n / \Delta \lambda$.

Дисперсия света относится к благоприятным явлениям и используется в экспертных исследованиях, например при анализе химического состава различных веществ спектральным методом. Но она может выполнять и негативную роль: из-за нее, например, возникает хроматическая аберрация (погрешности) объективов.

Интерференция света – это явление, возникающее при совместном воздействии двух и более источников света, при котором их пучки либо усиливают, либо ослабляют друг друга. Это сложение световых волн,

при котором обычно наблюдается характерное пространственное распределение интенсивности света (интерференционная картина) в виде чередующихся светлых и темных мест. Интерференция света возникает только в случае, если волны когерентны, т. е. разность фаз постоянна во времени и волны линейно поляризованы в одной плоскости. Для получения когерентных волн используются различные оптические приборы с зеркалами, линзами или призмами. Принцип их работы заключается в том, чтобы свет от одного точечного источника с помощью оптических приспособлений направить по двум разным путям в одно место.

На явлении интерференции света основано **просветление оптики**, в том числе и объективов фотоаппаратов. Просветление состоит в том, что на поверхности линз наносят прозрачную тончайшую пленку из материала с показателем преломления стекла линзы. Действие просветления заключается в том, что когда показатель преломления просветляющей пленки составляет квадратный корень из показателя преломления стекла линзы, а толщина просветляющей пленки составляет четверть длины света, то происходит интерференция лучей, отраженных от обеих поверхностей пленки (рис. 34). В результате происходит как бы гашение одних лучей другими и поверхность линзы перестает отражать свет. Полное гашение может быть достигнуто лишь для определенной длины волны. Поэтому для достижения наибольшего эффекта просветления толщину пленки подбирают для самого яркого желто-зеленого участка спектра, имеющего длину волны 556 нм. При этом полностью гасится отражение света с данной длиной волны и существенно ослабляется свет соседних участков спектра. Остальной же свет отражается, поэтому просветляющая пленка имеет фиолетовый оттенок.

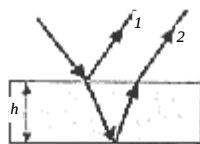


Рис. 34. Отражение света от тонкой пленки:

h – толщина пленки; 1 – луч, отраженный от верхней поверхности пленки;
2 – луч, отраженный от нижней поверхности пленки

На данном явлении работают интерферометры – специальные приборы для высокоточных измерений, в частности для определения толщины пленок, пластин, слоев жидкости, показателя преломления различных жидкостей, концентрации сухих веществ. С помощью интерферометра можно оценить качество обработки поверхности изделия с точностью до 10^{-8} м. Существует большое число различных конст-

рукций интерферометров, так как методы получения когерентных волн очень разнообразны, хотя принцип действия всех этих приборов одинаков. Широкое распространение получил интерферометр Майкельсона. Он используется в физических измерениях и технических приборах. Например, оптическая схема Фурье-спектрометра представляет собой интерферометр Майкельсона. Интерферометр Майкельсона, применяемый для измерения показателя преломления, является интерференционным рефрактометром, а интерференционный микроскоп применяют в криминалистических исследованиях прозрачных микрообъектов, для измерения показателей преломления и т. д.

Под **дифракцией** света понимается явление, состоящее в нарушении прямолинейности распространения света при прохождении через отверстия малых размеров. Светлое пятно против отверстия будет большего размера, чем это следует ожидать при прямолинейном распространении света.

На рис. 35 схематично показано распространение за щелью (на которую перпендикулярно падает плоская волна) круговых элементарных волн. Если на пути пучка света поставить препятствие с узкой щелью (MN), ширина (a) которой должна быть намного меньше ее длины, то дифракционная картина лучей, прошедших щель и собранных линзой (AB), будет наблюдаться на экране, помещенном в фокальной плоскости линзы.

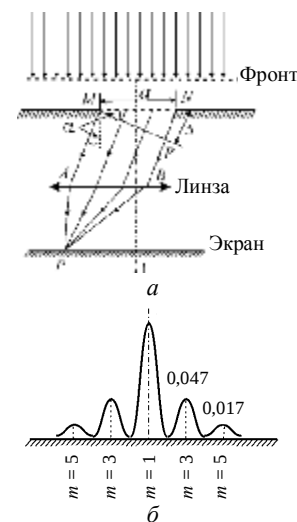


Рис. 35. Дифракция света:

a – распространение волны после щели; b – результат интерференции

Оптическая разность хода ($\Delta = NP$) между крайними лучами MA и NB составляет $a \sin \alpha$ (α – угол изменения направления распространения волны). Если ширину щели разбить на зоны так, чтобы все они были равны $\lambda/2$, то при четном числе зон (m) будет наблюдаться минимум интенсивности, а при нечетном – максимум интенсивности $a \sin \alpha = \pm 2m\lambda/2$ и $a \sin \alpha = \pm(2m + 1)\lambda/2$.

Таким образом, результирующая дифракционная картина имеет все черты, характерные для интерференции.

Различают дифракцию радиоволн, света в оптической зоне спектра и рентгеновских лучей.

Дифракция в чистом виде наблюдается в том случае, когда диаметр отверстия соизмерим с длиной волны света. Во всех остальных случаях можно наблюдать лишь частичную дифракцию.

Дифракция ограничивает разрешающую силу оптических приборов. В частности, она наблюдается при прохождении света через диафрагму объектива или осветителя, при этом диафрагмируют только те лучи, которые проходят у края диафрагмы. Если же сильно диафрагмировать объектив до 1:8 и меньше, то во время съемки резкость изображения не только не повышается, но может даже снизиться.

Дифракция не позволяет получить отчетливое изображение мелких деталей или очень мелких предметов с помощью микроскопа; волны света огибают предметы, и изображения получаются размытыми. Для изучения дифракции света применяют дифракционную решетку. Дифракционные решетки широко применяются в таких сложных оптических системах, как спектрографы, спектрометры, спектрофотометры, где они используются в составе монохроматора – устройства для выделения из непрерывного спектра строго определенного участка – монохроматического излучения.

Явление дифракции рентгеновских лучей на кристаллических веществах используется в экспертизе для исследования методами рентгеноструктурного анализа.

Явление **поляризации** состоит в выделении колебаний световых волн, идущих в одной плоскости, из всех колебаний, происходящих во всех плоскостях (рис. 36). Это выделение осуществляется путем отражения, преломления или пропускания света через кристаллические тела. При отражении естественного света от различных не металлических тел характер движения световых волн изменяется, при этом часть отраженного света меняет ориентацию и из естественного света выделяются волны с одним направлением колебаний, т. е. ориентированные в какой-либо одной плоскости. Такой свет будет поляризованным, а сама поляризация называется полной.



Рис. 36. Поляризованный свет

Обычно отраженные лучи представляют собой смесь естественного и поляризованного света. В таком случае поляризация будет частичной. Но поляризация происходит и при преломлении света. Если свет преломляется при прохождении через обычные вещества (вода, стекло) поляризация незначительна. В природе встречаются вещества, обладающие исключительно высокой способностью к поляризации (турмалин, исландский шпат и т. д.). Из этих веществ изготавливают поляризационные светофильтры – поляроиды, которые используют при фотографировании бликующих поверхностей, например потожировых следов рук на бутылке. Такие светофильтры также применяются при микроскопических исследованиях для дифференциации графитных штрихов и штрихов, оставленных от копировальной бумаги. Поляризационные микроскопы используются для исследования текстильных волокон, кристаллов и т. д. Явление поляризации света лежит в основе ряда методов исследования структуры вещества с помощью многочисленных поляризационных приборов.

Во многих практических вопросах, таких, например, как формирование светового пучка, образование изображения, волновая природа света может оказаться несущественной и ею можно пренебречь. Для решения задач такого рода применяют **законы геометрической (лучевой) оптики**.

Геометрическая оптика не рассматривает природу света, исходит из эмпирических законов его распространения, использует представление о световых лучах, что они преломляются и отражаются на границах сред с разными оптическими свойствами и распространяются прямолинейно в оптически однородной среде.

Задача геометрической оптики – математически исследовать ход световых лучей в среде с известной зависимостью показателя преломления n от координат либо найти оптические свойства прозрачных и отражающих сред, при которых лучи проходят по заданному пути. Представления геометрической оптики верны только в том случае, если можно пренебречь явлениями интерференции и дифракции световых волн. Таким образом, геометрическая оптика является предельным

случае волновой оптики. Наибольшее значение геометрическая оптика имеет для расчета и конструирования оптических приборов – от очковых линз до сложных объективов и огромных астрономических инструментов.

Базовыми понятиями геометрической оптики служат световой луч и светящаяся точка. Под **световым лучом** понимают линию, вдоль которой распространяется световая энергия. **Светящаяся точка** – источник света бесконечно малых размеров.

Законы геометрической оптики позволяют более упрощенно объяснить явления, связанные с реальными световыми потоками, что, в свою очередь, упрощает все расчеты, необходимые для применения оптических систем и устройств, которые широко используются в судебной экспертизе. В частности, на основании этих законов можно определить изменение направления световых пучков, величины их углов в результате отражения и преломления, объяснить формирование изображений, выявить причины аберраций, выбрать методики их устранения и т. д.

Уже в начальные периоды оптических исследований были на опыте установлены следующие четыре основных закона оптических явлений: закон прямолинейного распространения света, закон независимости световых пучков, закон отражения от зеркальной поверхности, закон преломления света на границе двух прозрачных сред.

Сущность **закона распространения света** состоит в том, что в однородной среде свет распространяется прямолинейно. Под однородной средой понимается среда, свойство которой одинаково во всех точках и направлениях. Если при этом пересекаются два и более пучка света, то они распространяются независимо друг от друга.

Если свет на своем пути встречает препятствие, то он может частично поглотиться, отразиться, а переходя из одной среды в другую, имеющую иные свойства, при определенных условиях изменить свое первоначальное направление.

Более детальное исследование описываемых явлений показывает, что закон прямолинейного распространения света теряет силу, если мы переходим к очень малым отверстиям. Так, в опыте мы получим хорошее изображение при размере отверстия около 0,5 мм. При последующем уменьшении отверстия изображение будет несовершенным, а при отверстии около 0,5–0,1 мкм изображение совсем не получится и экран будет освещен практически равномерно.

Прямолинейность распространения света была известна народам Месопотамии за 5 тыс. лет до н. э., она использовалась в Древнем Египте при строительных работах.

Световой поток можно разбить на отдельные световые пучки, выделяя их, например, при помощи диафрагм. Действие этих выделенных световых пучков оказывается независимым, т. е. **эффект, производимый отдельным пучком, не зависит от того, действуют ли одновременно другие пучки или они устранены**.

Содержание **закона отражения света** состоит в том, что падающий на поверхность луч, отраженный от нее луч и перпендикуляр, восстановленный к поверхности в точке падения луча, расположены в одной плоскости, при этом угол отражения луча равен углу его падения. Угол падения и отражения отсчитывается от указанного перпендикуляра, а не от поверхности.

Если отражающая поверхность зеркальная, то отражение будет направленным. Пучок света, состоящий из параллельных лучей, после отражения также будет состоять из параллельных лучей. Такое отражение называют **зеркальным** (рис. 37, а).

Отражение света от матовых, шероховатых поверхностей, например от картона, земли, матовой краски, будет рассеянным. Нарушение закона отражения света при этом не происходит, так как каждый отдельно взятый луч встречается с поверхностью под различными углами, что приводит к нарушению параллельности отраженных лучей. Данное отражение называют **диффузным** (рис. 37, б).

И зеркальное и диффузное отражение используются в различных оптических приборах, например в осветительных системах микроскопа.

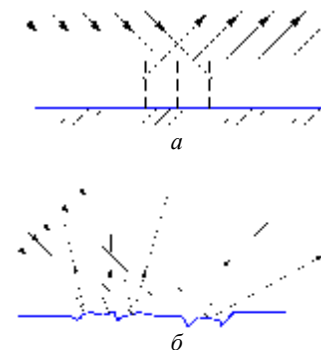


Рис. 37. Отражение света:
а – зеркальное; б – диффузное

Преломление света также подчиняется определенному закону, установленному экспериментально в XVII в.: падающий луч, преломленный луч и перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстано-

ленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости; отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для двух данных сред (рис. 38):

$$\sin i / \sin r = n,$$

где n – относительный показатель преломления второй среды относительно первой; i – угол падения; r – угол преломления.

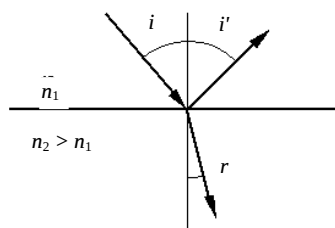


Рис. 38. Преломление света при переходе из менее плотной среды в более плотную:

n_1 – показатель преломления первой среды; n_2 – показатель преломления второй среды; i – угол падения; i' – угол отражения; r – угол преломления

Показатель преломления среды относительно вакуума называют *абсолютным показателем преломления этой среды*. Он равен отношению синуса угла падения к синусу угла преломления при переходе светового луча из вакуума в данную среду.

Относительный показатель преломления n связан с абсолютным показателем n_2 второй среды и n_1 первой среды соотношением $n = n_2 / n_1$, поэтому закон преломления можно записать следующим образом: $\sin i / \sin r = n_2 / n_1$.

Среду с меньшим абсолютным показателем преломления принято называть оптически менее плотной средой.

Абсолютный показатель преломления имеет глубокий физический смысл. Он связан со скоростью распространения света в данной среде и зависит от физического состояния среды, в которой он распространяется, т. е. от температуры вещества, его плотности, наличия в нем упругих напряжений. Показатель преломления зависит и от характеристик самого света. Для красного он меньше, чем для зеленого, а для зеленого меньше, чем для фиолетового. Поэтому в таблицах значений показателей преломлений веществ обычно указывается, для какого света приведено данное значение n .

Абсолютный показатель преломления твердого или жидкого вещества n_2 отличается от показателя того же вещества относительно воздуха очень незначительно: $n \approx n_2$.

Значение показателей преломления для веществ относительно воздуха приводятся в специальных таблицах справочной литературы. Например, показатель преломления воды относительно воздуха (при 20 °С) равен 1,33.

Показатель преломления вещества используется для диагностики и идентификации во многих классах судебных экспертиз. Для определения показателя преломления веществ существуют специальные приборы – рефрактометры. Они широко применяются для исследования свойств различных жидкостей. Например, рефрактометрический анализ используется при определении этилового спирта в винно-водочных изделиях, содержания сахара в соках, разбавления соков, при исследовании нефтепродуктов и т. д. Например, рефрактометр ИРФ-454Б2М (рис. 39) предназначен для непосредственного визуального измерения показателя преломления и средней дисперсии неагрессивных жидкостей и твердых тел, а также для определения массовой доли растворимых сухих веществ в продуктах переработки плодовых и овощей. Позволяет исследовать прозрачные, мутные, окрашенные жидкости и оптически однородные тела.



Рис. 39. Рефрактометр ИРФ-454Б2М

При прохождении через среду, ограниченную параллельными плоскостями, луч света преломляется дважды: вначале при переходе из воздуха в среду, затем из среды – в воздух. В результате двойного преломления луч не меняет своего первоначального направления, но смещается, при этом смещение будет тем больше, чем толще пластина (рис. 40).

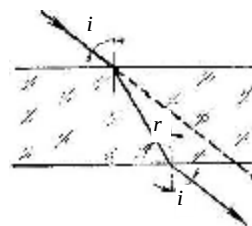


Рис. 40. Преломление света в плоскопараллельной пластине

В геометрической оптике имеет место такое явление, как **полное внутреннее отражение** (рис. 41). При переходе луча света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную угол преломления больше угла падения. Если увеличивать угол падения, то можно найти такой угол падения, при котором угол преломления станет равным 90° . Такой угол называется предельным ($i_{\text{пр}}$). При этом свет преломляется (переходит во вторую среду) только в пределах угла падения $i_{\text{пр}}$, которому соответствует угол преломления 90° .

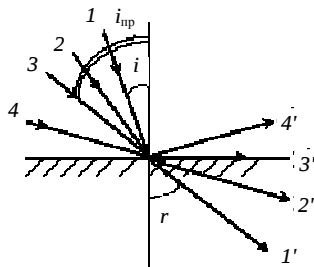


Рис. 41. Полное внутреннее отражение света

На рисунке показано, что полное внутреннее отражения луча 4 происходит при углах падения света на поверхность оптически менее плотной среды, превышающих предельный угол преломления (луч 3).

Полное внутреннее отражение используется при устройстве отражательных призм в оптических приборах (например, в фотографических установках) для поворота лучей на 90° или для получения обратного (перевернутого) изображения. Поворотные и оборачивающие призмы (рис. 42) применяются в оптических микроскопах, спектрографах, спектрофотометрах, зеркальных фотоаппаратах и т. д. На явлении полного внутреннего отражения света построены рефрактометры.

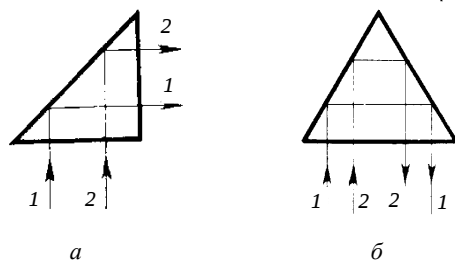


Рис. 42. Ход лучей в поворотной (а) и оборачивающей (б) призмах

На этом принципе основана работа приборов с волоконной оптикой, включающих гибкие световоды. Гибкий световод состоит из пучка тонких стеклянных нитей, каждая из которых покрыта оболочкой вещества с меньшим показателем преломления. Свет или изображение предмета, претерпевая многократное внутреннее отражение от стенок световода, передается на значительное расстояние как по прямолинейной, так и по криволинейной траектории (рис. 43). Волоконно-оптические устройства удобно использовать при производстве детального осмотра места происшествия, обыска, в ходе оперативно-розыскных мероприятий для наблюдения и изучения различных объектов, находящихся в труднодоступных местах, например осмотр тайников или номера на двигателе автомобиля.

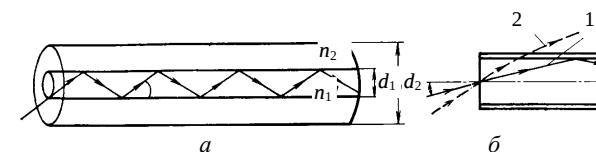


Рис. 43. Схема простейшего оптического волокна:

а – схема световода (световые пучки должны падать под углами, обеспечивающими полное внутреннее отражение от раздела «серцевина – оболочка», $n_1 > n_2$); б – распространение лучей в световоде: 1 – луч, полностью отражающийся от границы волокна и распространяющийся в световоде; 2 – луч, падающий под углом меньше предельного и уходящий за пределы волокна

3.2. Оптические детали, используемые в приборах и устройствах

При выполнении судебных экспертиз эксперты широко используют такие оптические приборы, как микроскопы, фотоаппараты, видеокамеры, «Регула» и т. д. В них широко используются детали, которые преломляют, отражают, усиливают, направляют свет. Такие детали называются оптическими. К ним относятся линзы, призмы, зеркала, светофильтры, элементы волоконной оптики, интерференционные элементы, поляризаторы и дифракционные элементы, элементы голографической техники, элементы нелинейной оптики (например, кристаллы).

Материалом, из которого изготавливаются оптические детали, как правило, является специальное оптическое стекло, обладающее высокой степенью однородности. Основным материалом оптических стекол является двуокись кремния – кремнезем. Для придания стеклу особых оптических свойств в процессе изготовления добавляются легирующие добавки в виде окислов натрия, калия, бария, свинца, бора, лантана и др.

Промышленность выпускает около 100 марок оптического стекла. Это дает возможность рассчитывать с высокой точностью оптические приборы, в том числе объективы и окуляры для микроскопов и объективы для фотоаппаратов. Поверхность оптических деталей шлифуется и полируется с высокой точностью, достигающей $0,00002 \text{ мм} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ мм}$.

Основными оптическими деталями являются линзы, призмы и зеркала.

Оптической линзой называется прозрачное тело, ограниченное с двух сторон сферическими или цилиндрическими поверхностями. В практике производства судебных экспертиз используются чаще всего сферические линзы. Линзы для оптических приборов изготавливают из стекла, кварца, полиметилметакрилата (органического стекла). Обычное стекло достаточно хорошо пропускает видимый свет, но не пропускает ультрафиолетовые лучи, кварцевое стекло пропускает и то и другое излучение.

В оптических приборах используются линзы самых разнообразных видов, которые подразделяются на выпуклые (собирающие) и вогнутые (рассеивающие) (рис. 44).

В свою очередь, выпуклые линзы делятся на двояковыпуклые, плосковыпуклые, вогнутовыпуклые. Особенностью этих линз является то, что центр их толще краев.

У вогнутых линз центр всегда тоньше краев. Вогнутые линзы делятся на двояковогнутые, плосковогнутые, выпукловогнутые.

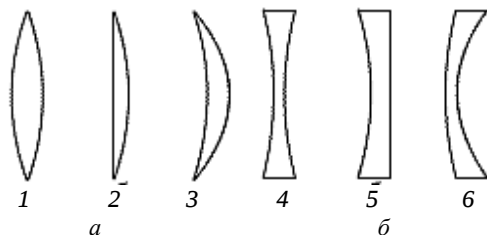


Рис. 44. Линзы:

а – собирающие: 1 – двояковыпуклая; 2 – плосковыпуклая; 3 – вогнутовыпуклая;
б – рассеивающие: 4 – двояковогнутая; 5 – плосковогнутая; 6 – выпукловогнутая

Прямая O_1O_2 , проходящая через центры кривизны линзы, называется *главной оптической осью линзы*. Точки, в которых главная оптическая ось пересекает поверхности линзы, называются ее вершинами. Расстояние между ними называется осевой толщиной линзы. Рассмотрим основные элементы линз (рис. 45).

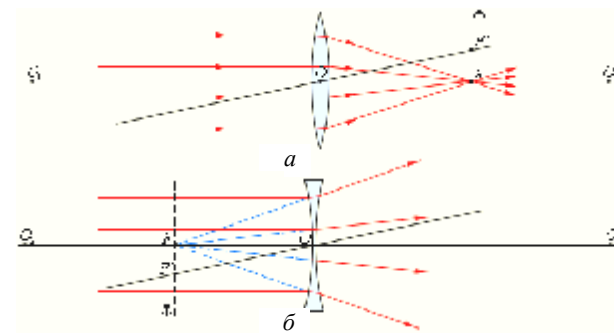


Рис. 45. Преломление параллельного пучка лучей в двояковыпуклой (*а*) и двояковогннутой (*б*) линзах:

O – оптический центр; O_1 , O_2 – центры сферических поверхностей (центры кривизны линзы); F – главный фокус; F' – побочный фокус, Φ – фокальная плоскость

На схеме показаны линзы, имеющие достаточно большую толщину – реальные, или физические, линзы. Однако для удобства проведения построений и выполнения расчетов используют понятие математической линзы, т. е. такой, что не имеет реальной толщины, тогда точка *O* является оптическим центром линзы. Любая прямая, проходящая через оптический центр, называется *оптической осью линзы*. Таких осей может быть бесконечно много. Их основное свойство состоит в том, что лучи света, проходящие по ним, не изменяют своего направления после прохождения через линзу. Эти оси в отличие от главной называют *побочными (OF')*.

Если пучок лучей, параллельных главной оптической оси, направить на выпуклую линзу, то на выходе из нее он станет сходящимся – такие линзы называются *собирающими*. Подобный же пучок, выходя из вогнутой линзы, будет расходиться, поэтому вогнутые линзы называются *рассеивающими*. Данные свойства легко объясняются тем, что сечение линзы представляет собой совокупность трехгранных призм, в которых и происходит отклонение лучей в ту или иную сторону.

Собирающие линзы позволяют формировать изображение предметов на экране, которое называется действительным. Рассеивающие линзы формируют не действительное изображение, а мнимое, так как при этом используют не сами лучи, а их продолжения. Поэтому мнимое изображение не может быть получено на экране.

Изображение, полученное в собирающей линзе, называется *действительным перевернутым*. Будет ли оно увеличенным, уменьшен-

ным или без изменения масштаба, зависит от расположения предмета относительно линзы.

Одной из основных характеристик собирающей линзы является главный фокус и связанный с ним параметр, который называется главным фокусным расстоянием.

Главным фокусом (F) называется точка, лежащая на главной оптической оси, в которой собираются лучи, падающие на линзу и параллельные главной оптической оси и между собой.

Главное фокусное расстояние линзы (f) – это расстояние от оптического центра линзы до главного фокуса.

Фокальной (главной) плоскостью называется плоскость, проходящая через главный фокус и перпендикулярная главной оптической оси.

Так как свойства линзы не зависят от того, с какой стороны на нее падают лучи света, каждая линза имеет два главных фокуса, два главных фокусных расстояния, равные между собой, и две фокальные плоскости, расположенные по обе стороны линзы.

Главное фокусное расстояние для одной линзы или системы линз является фиксированной величиной, но оно тесно связано с расстоянием от предмета до линзы (a) и от линзы до изображения (a') (рис. 46) посредством формулы $1/a + 1/a' = 1/f$.

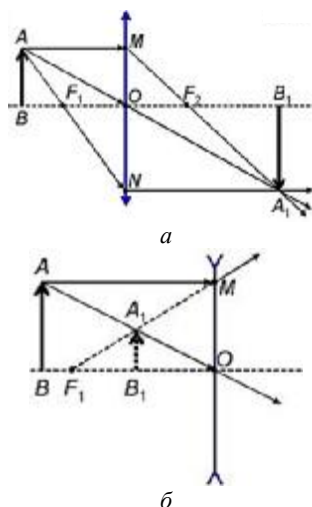


Рис. 46. Построение изображения в собирающей (а) и рассеивающей (б) линзах:

AB – объект; A_1B_1 – изображение объекта, OF_1, OF_2 – фокусные расстояния (f, f);
BO – расстояние от объекта до линзы (a); OB_1 – расстояние от линзы до изображения (a');
O – оптический центр; F_1, F_2 – главные фокусы линз

Величину, обратную фокусному расстоянию, называют *оптической силой линзы* (Φ): $1/f = \Phi$. Следовательно оптическую силу линзы можно рассчитать по формуле $\Phi = 1/f = 1/a + 1/a'$.

Оптическая сила линзы является характеристикой ее преломляющей способности. Из формулы следует, что чем сильнее линза преломляет лучи, тем меньше величина ее главного фокусного расстояния. Единицей оптической силы линзы служит диоптрия. 1 диоптрия – это оптическая сила такой линзы, у которой главное фокусное расстояние равняется 1 метру. Если линза собирающая, то оптическая сила берется со знаком «+», для рассеивающих линз оптическая сила берется со знаком «-».

Оптическая сила системы, состоящая из нескольких линз, равняется сумме оптических сил каждой линзы, составляющей эту систему, причем суммирование производится с учетом знаков:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \dots + \Phi_i.$$

В практике использования линз для получения изображения объектов имеются различные варианты расположения предметов по отношению к линзе, а значит, и по отношению к ее переднему фокусу. Рассмотрим их.

1. Предмет располагается на расстоянии больше двойного фокусного расстояния линзы. Такой вариант встречается при обычной фотосъемке объектов. Изображение в этом случае получается уменьшенным действительным перевернутым и расположено между задним и двойным фокусным расстоянием линзы.

2. Предмет располагается точно на двойном фокусном расстоянии от линзы. Данный вариант встречается при репродукционной фотосъемке небольших предметов. Изображение по величине будет равным предмету, действительным перевернутым.

3. Предмет располагается между передним главным фокусом и двойным фокусным расстоянием. Таким образом получается изображение предметов, формируемое объективом микроскопа при микрофотосъемке, а также при увеличении в проекционных аппаратах. Оно будет увеличенным действительным перевернутым.

4. Предмет находится в передней фокальной плоскости. Лучи, из каждой его точки, пройдя через линзу, будут идти параллельно лучу, проходящему через главный задний фокус. Изображения в данном случае не будет, точнее, оно начнет формироваться в бесконечности.

5. Предмет располагается между передним главным фокусом и линзой. Изображение его будет мнимым прямым увеличенным. Такой вариант имеет место при использовании лупы и окуляра микроскопа.

Рассматривая образование изображения протяженных объектов, предполагают, что, во-первых, изображение образуется узкими световыми пучками, и падают они под небольшими углами к главной оптической оси, и, во-вторых, линзы имеют маленький диаметр и толщину. Однако на практике дело обстоит совсем не так, ибо для получения больших освещенностей необходимо использовать широкие световые пучки и применять линзы большого диаметра, а значит, и большой толщины. Это приводит к ухудшению оптического изображения: оно оказывается недостаточно резким, расплывчатым, мелкие детали смазываются, становятся плохо различимыми, отдельные части изображения становятся окрашенными. Это происходит из-за того, что реальные линзы имеют погрешности, которые называют **абберациями**. В оптических системах, используемых в судебной экспертизе, чаще всего встречаются следующие aberrации: сферическая, хроматическая, астигматизм, кома и дисторсия.

Сферическая aberrация (рис. 47) возникает по причине того, что лучи света на краях линзы преломляются сильнее лучей центральной части линзы. Из-за этого изображение получается не в виде точки, а в виде размытого пятна. Избавиться, хотя бы частично, от этого недостатка можно путем диафрагмирования, что не всегда выгодно, так как при этом снижается светосила объектива. Второй путь – это подбор двух линз такой формы, чтобы aberrация каждой была примерно одинаковой, но направлена в противоположные стороны.

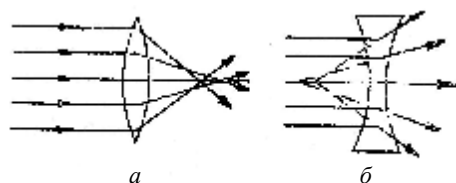


Рис. 47. Сферическая aberrация:
а – собирающая линза; б – рассеивающая линза

Хроматическая aberrация (рис. 48) возникает в результате дисперсии света: луч белого света, пройдя через линзу, разлагается на составные части, причем фиолетовые лучи преломляются сильнее красных (остальные находятся между ними). В результате изображение одной белой точки фокусируется в разных местах, поэтому изображение ее будет в виде размытого цветного кружка. Исправляют хроматическую aberrацию подбором линз.

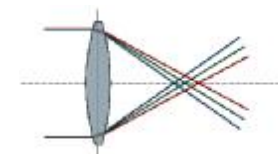


Рис. 48. Хроматическая aberrация

Астигматизм (рис. 49) проявляется в тех случаях, когда получают изображение объекта, расположенного на значительном расстоянии от главной оптической оси. Из-за нарушения сферичности поверхностей линзы преломленный пучок лучей имеет форму неправильного конуса, и лучи света, отраженные от объекта, преломляются в разных плоскостях и не могут сфокусироваться на одной плоскости изображения. В результате в зависимости от расстояния до линзы изображение точки получается либо в виде вертикального или горизонтального отрезка, либо в виде эллипса. Внешне это проявляется в том, что изображение точки получается в виде небольшого крестика. Уменьшают астигматизм с помощью комбинации нескольких линз, имеющих различную кривизну и изготовленных из различных сортов стекол.

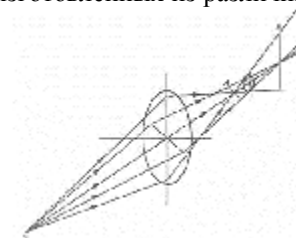


Рис. 49. Астигматизм

Сферическая aberrация боковых лучей называется **комой** (рис. 50). Она проявляется в том, что точка на изображении выглядит, как запятая (кометообразная форма). Устраняется тем же способом, что и сферическая aberrация.



Рис. 50. Кома

Дисторсия (рис. 51) возникает из-за неоднородности линейного увеличения в различных участках линзы. Обычно проявляется в виде изогнутости по краям линзы. Различают подушкообразную и бочкообразную дисторсию. Первая образуется, когда диафрагма расположена за линзой, вторая – когда диафрагма расположена перед линзой. Устранить дисперсию можно используя две одинаковые линзы и расположив между ними диафрагму.

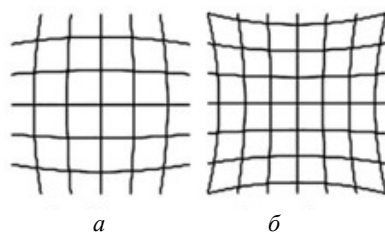


Рис. 51. Дисторсия:
а – бочкообразная; б – подушкообразная

В реальных объективах и окулярах для устранения рассмотренных aberrаций используют, как правило, системы различных линз. Кроме того, системы линз применяются в осветителях (коллекторы и конденсоры), проекционной аппаратуре и других приборах, используемых в судебной экспертизе.

Призма – это многогранник, у которого две грани, называемые основаниями, – равные многоугольники, а остальные (боковые) грани состоят из параллелограммов, плоскости которых параллельны одной прямой, называемой ребром многогранника. Оптические призмы могут иметь разнообразную форму. Они применяются в оптических и спектральных приборах. Например, пентапризма, стеклянная пятиугольная призма, используется в видоискателях однообъективных зеркальных фотоаппаратов, дает прямое изображение предмета. Оборачивающая призма используется для оборачивания изображения в оптических приборах. Действие оборачивающей призмы основано на использовании полного отражения света. Бипризма Френеля используется в фотоаппаратах для наводки на резкость. Разделительные призмы используются в сравнительных микроскопах, они позволяют одновременно наблюдать изображение двух объектов.

Зеркалом в оптике называется тщательно отполированная поверхность, имеющая форму плоскости, сферы и т. д. В оптике используют металлические и стеклянные зеркала с наружным металлическим покрытием. Для изготовления оптических зеркал используют как мож-

но более чистые, без примесей материалы. Это могут быть алюминий, по технологии испаряемый в вакууме, серебро, хром, золото и т. д. Есть варианты облегченных оптических зеркал. В этом случае как в основе, так и в покрытии применяются алюминий, керамика, кремний, бериллий и иные высокомолекулярные металлы.

В настоящее время изготавливают плоские, вогнутые и выпуклые сферические, параболические, гиперболические и эллиптические зеркала. Их применяют в качестве оптического элемента в оптических приборах.

В некоторых приборах, в частности в opak-иллюминаторах, используются светоделительные пластины или полупрозрачные зеркала, которые частично отражают свет и частично пропускают его. Такие пластины используются для направления света через объектив микроскопа, а также применяются в дальномерах фотоаппаратов.

Зеркальные покрытия и сферические зеркала используются в проекционных и осветительных приборах. Нашли применение они и в зеркально-линзовых объективах, в частности зеркала используются в телеобъективах конструкции Д.Д. Максудова.

Оптические зеркала применяются в фото- и видеотехнике, в оптико-электронных приборах, лазерной технике, спектрометрах, спектрофотометрах, телескопах и других не менее популярных и важных приборах и устройствах.

Светофильтры – устройства, изменяющие состав света, проходящего через них. Для изготовления светофильтров применяются высококачественное оптическое стекло или специальные оптические пластмассы. В экспертной деятельности светофильтры применяются в основном в фотографии. Они имеют круглую или прямоугольную форму. С появлением цифровых фотокамер и возможности обработки изображения в Photoshop использование многих светофильтров уходит в прошлое. Но некоторые светофильтры понижают светосилу объективов, поэтому они используются с цифровыми камерами. Это защитные, поляризационные, УФ-фильтры и др.

В исследовательской фотографии, чтобы поглотить видимый свет и выделить узкий участок УФ-излучения, используют стеклянные светофильтры типа УФС-1, 2, 3, 4, 5, 6. Они пропускают до 100 % УФ-излучения в ближней и средней ультрафиолетовых областях, видимая зона практически полностью поглощается ими, но частично (до 60 %) пропускается и инфракрасная зона в ближайшей ее области. Отделение ИК-излучения от остального излучения источников производится с помощью светофильтров ИКС-1, 2, 3, которые полностью задерживают видимый свет и пропускают только ИК-излучение с длиной

волны не короче 760 нм. Используются также светофильтры, пропускающие и красное и инфракрасное излучение: КС-14, 15, 17, 18, 19. Эти светофильтры пропускают ИК-излучение до 1 300 нм. Вместо стеклянных светофильтров можно использовать пластину эбонита толщиной до 1 мм.

Элемент волоконной оптики – это нить из оптически прозрачного материала (стекло, пластик), используемая для переноса света внутри себя посредством полного внутреннего отражения. Волоконные осветители предназначены для «бестеневого» освещения объекта. В судебной экспертизе применяют одинарные, двойные и кольцевые волоконные осветители (рис. 52).



Рис. 52. Волоконные осветители:
а – одинарный; б – двойной; в – кольцевой;
г – осветитель с блоком – источником света

К **интерференционным элементам** относятся интерференционные (узкополосные) светофильтры и интерференционные зеркала. Интерференционные фильтры представляют собой пластинки из специальных прозрачных материалов с многослойными диэлектрическими покрытиями. Интерференция отраженных от них слоев лучей позволяет получить фильтр, кривая спектрального пропускания которого содержит узкие резкие максимумы, разнесенные на большие расстояния по длине волны. Интерференционный фильтр широко используется в оптической спектроскопии высокого разрешения. Обычно он используется «тандемом», вслед за стандартным призмным монохроматором соответствующего спектрометра, что позволяет существенно сузить ширину спектра излучения монохроматора.

Многослойные интерференционные зеркала обычно формируют на основе диэлектрических материалов с разными показателями преломления, поэтому их часто еще называют диэлектрическими зеркалами. Действие многослойных диэлектрических зеркал основано на многолучевой интерференции, которая может возникать при многократных отражениях светового пучка внутри плоскопараллельной пластины или при отражениях от границ раздела в многослойных структурах. На интерференции при многократных отражениях света от двух параллельных поверхностей основан принцип действия интерферометра Фабри – Перо, широко используемого в спектроскопии высокого разрешения и в метрологии.

3.3. Использование невидимой зоны электромагнитного спектра в экспертных исследованиях

В экспертных исследованиях используют не только видимый свет, но и невидимую зону электромагнитного спектра – инфракрасную и ультрафиолетовую.

Электромагнитное излучение, занимающее спектральную область между красной границей видимого света (760 нм) и коротковолновым радиоизлучением (1–2 мм), называют **инфракрасным**. Инфракрасную область спектра условно разбивают на близкую (760–2 500 нм), среднюю (2 500–5 000 нм) и далекую (50–2000 мкм). Инфракрасное излучение испускают возбужденные атомы или ионы.

Нагретые жидкие и твердые тела испускают непрерывный инфракрасный спектр. В обычных условиях они не только являются источниками ИК-излучения, но и имеют максимальное излучение в области ИК-спектра. Однако при невысокой температуре энергетическая светимость тел мала. Поэтому далеко не все объекты могут быть использованы как источники ИК-излучения. В экспертизе используются искусственные источники.

К искусственным источникам относятся обычные электрические многоваттные лампы накаливания, кварцевые ртутные лампы, газовые и полупроводниковые лазеры, полупроводниковые диоды. В настоящее время в экспертной практике все чаще находят применение оптические квантовые генераторы, дающие монохроматическое излучение (в том числе ИК-области), а также силитокерамические электронные инфракрасные источники света. Например, в экспертных подразделениях для исследования документов широко используется прибор «Регула», который дает излучение в ближней инфракрасной области, в видимой зоне и захватывает ближнюю ультрафиолетовую. Прибор «Регула-4305М» имеет

22 интегрированных источника света, 17 из которых работает на светодиодах и которые дают УФ-излучение с длиной волны 254, 313, 365, 400 нм, ИК-излучение – 870 и 950 нм.

В спектроскопии в качестве источника непрерывного ИК-излучения применяются силовый излучатель (глобар), который представляет собой стержень из карбида кремния, штифт Нернста – цилиндр диаметром от 1 до 3 мм и длиной до 30 мм из оксидно-керамической массы, состоящей из оксидов циркония и иттрия.

Источники ИК-излучения, как и источники видимого света, отличаются между собой по спектру излучения и его интенсивности. Большинство источников ИК-излучения содержит в своем составе инфракрасное и другие виды излучения, которые необходимо отделить с помощью светофильтров.

Инфракрасные лучи обладают специфическими свойствами, которые используются при решении экспертных задач:

они обладают большей проникающей способностью, чем видимые лучи. Некоторые объекты, являющиеся непрозрачными для видимых лучей, прозрачны в ближней зоне ИК-излучения;

поглощение и отражение ИК-излучения различными веществами происходит иначе, чем для видимого излучения. Данное обстоятельство используется для определения состава ряда веществ, в основном органического происхождения;

инфракрасные лучи значительно меньше рассеиваются в атмосфере, чем видимые, что позволяет наблюдать за процессами в темноте и на больших расстояниях.

Отделение ИК-излучения от остального излучения источников производится с помощью указанных выше светофильтров.

Для регистрации ИК-излучения и преобразования его в видимое изображение используют чувствительные к ИК-излучению тепловые и фотоэлектрические приемники излучения, электронно-оптические преобразователи, видиконы и фотоматериалы.

В *тепловых приемниках* поглощенное ИК-излучение вызывает повышение температуры термочувствительного элемента приемника, которое и регистрируется.

В *фотоэлектрических приемниках* поглощенное ИК-излучение приводит к появлению или изменению электрического тока или напряжения. Фотоэлектрические приемники в отличие от тепловых являются селективными, т. е. чувствительными лишь в определенной области спектра.

В *электронно-оптических преобразователях* не видимое глазом инфракрасное изображение объекта на фотокатоде преобразуется в видимое.

Современные электронно-оптические преобразователи являются приемником лучистой энергии, предназначенным для усиления яркости изображения или преобразования изображения в инфракрасных, ультрафиолетовых или рентгеновских лучах в видимое изображение. ЭОП позволяет выявить на сходных по цвету объектах следы крови, спермы, слюны, женского молока, выстрела, микрообъекты на теле и одежде потерпевшего и подозреваемого, а также дописки, исправления, травление, смывание, переклейку фотографии при подделке документов.

Видиконы – это приборы, способные видеть инфракрасное, или тепловое, излучение. Эти приборы позволяют в лабораторных условиях проводить широкий спектр исследований, не разрушая или не изменяя объект, с последующей компьютерной обработкой изображений.

Регистрация ИК-излучения на фотоматериалах основана на использовании фотохимического эффекта – почернения фотографической эмульсии под воздействием ИК-лучей, но он пригоден лишь для ближней области, т. е. в пределах чувствительности к данному излучению фотоматериалов. Для экспертных исследований данный способ предпочтителен, так как позволяет получить визуальную картину состояния объекта исследования. Для фотографирования в ИК-лучах выпускаются специальные материалы, которые обозначаются индексом «инфра» или буквой «И». Рядом с индексом помещается ряд цифр, которыми обозначается длина волны излучения в нанометрах, являющаяся наиболее чувствительной для данного фотоматериала. Инфрахроматические материалы выпускаются на пленках (И-780, И-920 и др.) и стеклянных пластинках (И-720, И-760 и др.). Инфрахроматические материалы очень чувствительны к длинноволновой инфракрасной области спектра, поэтому быстро стареют, особенно при повышенной температуре. Хранить их следует при температуре 0–5 °С и не более года.

При фотографировании следует помнить, что длина волны ИК-лучей больше длины волны видимого света, поэтому при наводке на резкость следует несколько увеличить расстояние по сравнению с тем, которое было после наводки на резкость при видимом свете.

Электромагнитное излучение, занимающее спектральную область между фиолетовой границей видимого света (380 нм) и длинноволновой частью рентгеновского излучения (10 нм), называют **ультрафиолетовым**.

В области ниже 200 нм УФ-излучение интенсивно поглощается всеми телами, в том числе и молекулами воздуха, поэтому в экспертной практике эта область не используется. Всю остальную зону можно условно разбить на три области:

длинноволновое УФ-излучение непосредственно примыкает к видимому и имеет интервал длин волн 380–315 нм. Фотографическая и микроскопическая оптика пропускает его;

средневолновое УФ-излучение находится в интервале от 315 до 280 нм. Оптические стекла, имеющие толщину более 6 мм, полностью поглощают эти лучи. Но они свободно проходят через оптику, изготовленную из кварца, органического и увиолевого стекла;

коротковолновое УФ-излучение находится в интервале от 280 до 200 нм. Эти лучи проходят через кварцевое и частично увиолевого стекло, но поглощаются органическим стеклом.

Наиболее мощным источником УФ-излучения является солнце: 9 % его излучения на границе земной атмосферы составляют УФ-лучи. Но в экспертной практике, как правило, пользуются искусственными источниками данного излучения. К ним относятся ртутно-кварцевые, ксеноновые, ртутно-ксеноновые, ксеноновые импульсные, дейтериевые лампы, лампы с полым катодом.

Дейтериевая, ксеноновая импульсная и лампа с полым катодом являются идеальными источниками ультрафиолетового излучения для применения в спектрофотометрах.

Практически все источники УФ-излучения, кроме оптических квантовых генераторов, излучают еще и видимый свет, что нередко мешает проведению исследований. Чтобы поглотить видимый свет, а также выделить узкий участок УФ-излучения, используют различные светофильтры.

В настоящее время в экспертной деятельности используются самые разные ультрафиолетовые осветители: «Спектр-М», «Таир-ГАИ», «УФО-СВ1», «Гриф-2М», «Ультра» и др.

Для регистрации УФ-излучения необходимы специальные приборы, которые используются для определения состава вещества. В судебной экспертизе УФ-излучение регистрируют фотографированием объектов в ультрафиолетовых лучах или визуально наблюдают люминесценцию, которая возникает в результате взаимодействия УФ-излучения с веществом.

Некоторые вещества при поглощении энергии возбуждения начинают светиться. Это явление называется **люминесценцией**. Механизм люминесценции заключается в образовании под действием энергии от внешнего или внутреннего источника возбужденных состояний атомов, молекул, кристаллов и последующем испускании ими квантов света (фотонов). Свечение подобных веществ может происходить и под воздействием ультрафиолетового, рентгеновского, гамма-излучения и под воздействием потока электронов.

Особый интерес в судебной экспертизе представляет люминесценция некоторых веществ под действием ультрафиолетового излуче-

ния без изменения температуры. В экспертной практике используется явление люминесценции, наблюдаемое только в видимой зоне электромагнитного спектра и крайне редко – в ближней инфракрасной зоне. Возбуждение люминесценции происходит излучениями всех рассмотренных зон. Однако длина волны люминесценции определяется природой самого вещества и не зависит от вида источника возбуждения. Например, если облучать керосин рентгеновскими лучами, то он люминесцирует молочно-белым цветом. При облучении ультрафиолетовыми лучами он светится таким же образом. Однако если облучать его инфракрасными лучами, то свечения не будет. Строго говоря, люминесценции в видимой зоне в данном случае не будет. Такая закономерность люминесценции была обнаружена Дж.Г. Стоксом. В соответствии с ней свет люминесценции всегда имеет большую длину волны, чем свет источника возбуждения люминесценции. Более точно закон Стокса гласит: спектр люминесценции и его максимум сдвинуты в более длинноволновую область по сравнению со спектром источника возбуждения и его максимумом. Расстояние между ними на графике называется **стоксовым смещением**. Чем больше величина такого смещения, тем надежнее определение люминесцирующего вещества и тем легче визуально наблюдать объект исследования. В частности, эксперту значительно проще фиксировать различия в цвете люминесценции, например, штрихов, выполненных близкими по цвету красителями чернил или паст для шариковых ручек. Особенно это важно при их фотографировании.

Закон Стокса показывает, что из всех видов излучений, способных вызвать люминесценцию, в экспертной практике наиболее приемлемо УФ-излучение и частично коротковолновый видимый свет (фиолетовый и синий), хотя возможности последнего ограничены.

Интенсивность люминесценции существенно зависит от концентрации люминесцирующего вещества: с увеличением концентрации возрастает и выход люминесценции, но до определенных значений, при которых наблюдается резкое снижение энергетического выхода. Это свойство положено в основу количественного люминесцентного анализа веществ.

Снижение выхода люминесценции определяется не только концентрацией вещества, но и другими причинами. Процессы, резко снижающие выход, называются тушением люминесценции. Различают следующие виды тушения: концентрационное, посторонними примесями (физическое и химическое) и температурное. Механизм тушения люминесценции достаточно сложен и описывается в специальной литературе на высоком научном уровне, находящемся за рамками знаний эксперта.

В зависимости от длительности свечения люминесценция делится на фосфоресценцию и флуоресценцию. **Фосфоресценция** – такой вид люминесценции, когда свечение происходит в течение достаточно длительного промежутка времени после того, как источник возбуждения отключен (от долей до нескольких десятков секунд). **Флуоресценция** – это кратковременное свечение после отключения источника возбуждения (менее 10^{-6} с).

Методы исследований, основанные на использовании оптических явлений и закономерностей, а также созданные на их базе технические средства достаточно широко используются в экспертной практике, а некоторые из них, такие, например, как фотоаппараты, фотоустановки и микроскопы, являются тем оборудованием и инструментарием, без которого нельзя выполнить практически ни одного экспертного исследования. Кроме того, методы исследования, основанные на использовании оптических закономерностей, как правило, наглядны, конкретны и не вносят изменений в первоначальное состояние объектов, т. е. являются неразрушающими.

Что касается других видов электромагнитных излучений (рентгеновское, гамма-излучение), то они используются для решения задач экспертизы материалов и веществ. В частности, рентгеновское излучение применяется для определения химического и фазового состава и анализа структуры различных веществ. Если какой-либо объект облучать нейтронами, то он сам может стать радиоактивным, т. е. излучать различные частицы. И по спектру его излучения, в частности гамма-излучения, можно определить природу этого объекта, т. е. установить, из каких веществ он состоит. Таким образом можно относительно легко определить химический состав материала микрообъектов.

Оптические явления нашли широкое применение в судебной экспертизе. На их основе создано оборудование, с помощью которого решаются экспертные задачи. Это всевозможные осветители, фотоаппараты, фотоустановки, микроскопы.

3.4. Микроскопы и использование их в судебной экспертизе

Вещественные доказательства или отдельные их детали нередко бывают малыми по своим размерам. Поэтому для их обнаружения и исследования необходимы специальные оптические устройства и приборы, которые позволяют существенно расширить естественные возможности человеческого глаза. В настоящее время, когда место происшествия становится все более и более «стерильным», т. е. преступник старается не оставлять на нем следов, важное значение

приобретают такие доказательства, как микрообъекты (волокна, волосы, мельчайшие частички почвы, стекла и т. п.).

Оптические микроскопы относятся к основным приборам, которыми широко пользуются эксперты при исследовании самых разных объектов. Например, с помощью микроскопа можно обнаружить следы травления, потертости, переклейку при проведении судебной технической экспертизы документов. По следам на пуле или гильзе можно определить не только вид и тип оружия, но и конкретный ствол, из которого был произведен выстрел данным патроном. Большим достоинством современных микроскопов является возможность наблюдать увиденное и фиксировать его на фотоматериалах. Для экспертизы это имеет большое значение. Судебные эксперты при проведении исследований используют микроскопы различных модификаций, но есть микроскопы, которые специально спроектированы для них, – сравнительные микроскопы.

Глаз человека, имеющего нормальное зрение, плохо распознает детали предмета, если видит его под углом зрения менее $1'$. Такому углу соответствует, например, угол, составленный лучами, выходящими на края отрезка длиной 1 см, находящегося на расстоянии 34 м от глаза. С приближением такого объекта к глазу увеличивается и угол зрения. Однако такое приближение не может быть бесконечным из-за ограничения аккомодационной способности глаза. Наиболее благоприятным расстоянием для человеческого глаза является 25 см, которое называется *расстоянием наилучшего зрения*.

Используя специальные приспособления, можно увеличить угол зрения глаза, тем самым повысив его разрешающую способность. К ним относятся лупы, оптические и электронные микроскопы.

В качестве **лупы** применяется собирающая линза с фокусным расстоянием от 10 до 100 мм. Лупа помещается перед глазом, по возможности ближе к нему, а рассматриваемый предмет – на расстоянии немного меньше фокусного расстояния лупы. Построение изображения в этом случае было рассмотрено выше. Напомним, что при таких условиях получается мнимое прямое увеличенное изображение (рис. 53).

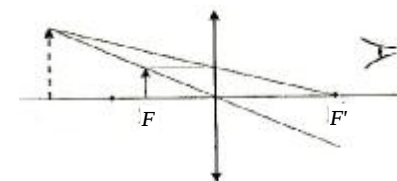


Рис. 53. Построение изображения, которое дает лупа

Увеличение лупы определяется по формуле

$$\Gamma = \frac{D}{f} = \frac{250}{f},$$

где D – расстояние до объекта от глаза, мм; f – фокусное расстояние системы, мм.

Отношение линейных размеров изображения к линейным размерам предмета называется масштабом изображения или линейным увеличением:

$$R = \frac{H}{h},$$

где H – размер изображения; h – размер предмета.

Казалось бы, с помощью лупы можно получать очень большие увеличения, надо только уменьшать ее фокусное расстояние. Например, при фокусном расстоянии 0,5 мм увеличение лупы равно 500. Однако пользоваться лупами с очень малым фокусным расстоянием, а следовательно, и с малым диаметром практически невозможно. Поэтому лупы с увеличением более $20\times$ не применяются.

Лупы слабого увеличения (до $7\times$), представляют собой двояковыпуклую линзу, лупы сильного увеличения (от 7 до $20\times$) часто состоят из нескольких линз (собирающая оптическая система). Лупами можно рассматривать предметы размером 0,01 мм и более.

Главная деталь лупы – линза, она находится в оправе, конструкции которых могут быть самыми разнообразными. В экспертной практике используются складные лупы, дактилоскопические лупы с линейкой для подсчета папиллярных линий, измерительные лупы, текстильные лупы, часовые лупы, лупы с подсветкой. Лампы луп с подсветкой питаются и от сети и от батареек. Для исследования объектов малых размеров широко применяется криминалистическая лупа «Регула» (рис. 54), разные модели которой дают увеличение 3,5 и $7\times$.



Рис. 54. Лупа дактилоскопическая «Регула»: а – модель 1008; б – модель 1001

В унифицированный комплект технико-криминалистических средств, предназначенный для работы в полевых условиях, входят две лупы: *складная* и *криминалистическая* с подсветкой, в которой лампа и питание помещены в рукоятке.

Для получения больших увеличений применяются микроскопы. **Микроскоп** – это прибор, предназначенный для увеличения разрешающей способности человеческого глаза. В оптическом микроскопе используется двухступенчатая система увеличений и соответственно две системы линз. Система линз, которая обращена к объекту исследования, называется объективом, а та, которая обращена к глазу исследователя, – окуляром. На рис. 55 представлена оптическая схема микроскопа.

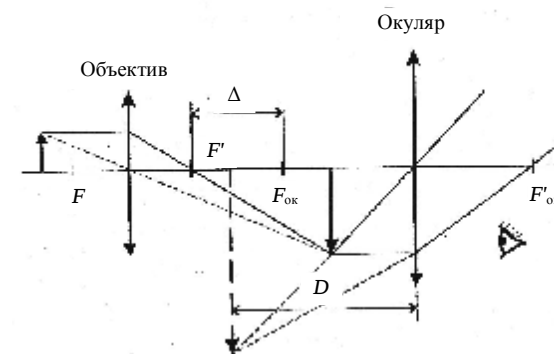


Рис. 55. Оптическая схема микроскопа

Главными характеристиками микроскопа являются увеличение, разрешающая способность и глубина резкого изображения.

Общее увеличение микроскопа определяется произведением увеличения объектива и увеличения окуляра:

$$\Gamma_m = \Gamma_{об} \cdot \Gamma_{ок},$$

$$\Gamma_{ок} = -\frac{D}{f_{ок}},$$

$$\Gamma_{об} = \frac{\Delta}{f_{об}},$$

$$f_m = \frac{f_{об} \cdot f_{ок}}{\Delta},$$

$$\Gamma_m = -\frac{\Delta}{f_{об}} \cdot \frac{D}{f_{ок}}.$$

Знак «—» указывает, что изображение перевернуто по отношению к объекту; Δ – оптический тубус микроскопа (расстояние между ближайшими фокусами объектива и окуляра – 150–200 мм).

Формула общего увеличения микроскопа легко выводится по схеме хода лучей в оптическом микроскопе. В этой схеме объединены два варианта построения изображений, рассмотренные выше. Объектив «работает» по схеме, когда предмет располагается между главным фокусом и двойным фокусным расстоянием, а окуляр – по схеме, когда предмет (или изображение объектива) располагается между главным фокусом окуляра и центром окуляра. И в том и в другом случае линзы дают увеличенное изображение, следовательно общее увеличение будет равно произведению увеличений каждой из линз.

Общее увеличение микроскопа следует отличать от полезного, которое определяется разрешающей способностью микроскопа, а она, в свою очередь, зависит только от объектива. Роль окуляра с этой точки зрения сводится к дополнительному увеличению изображения, но не увеличению угла зрения. Окуляр связан лишь с изображением и только то, что дал объектив, т. е. те детали предмета, которые будут в изображении, будет преобразовываться при прохождении лучей через окуляр. Следовательно никаких новых сведений о предмете окуляр не дает. Это значит, что разрешающая способность микроскопа определяется только объективом.

Под *пределом разрешения микроскопа* понимается минимальное расстояние (d) между двумя точками на предмете, лежащими в плоскости, перпендикулярной главной оптической оси объектива, когда эти точки видны раздельно.

Предел разрешения светового микроскопа определяется по формуле

$$d = 0,61 \frac{\lambda}{A}$$

Разрешающая способность светового микроскопа – это величина, обратная пределу разрешения микроскопа.

Угловая апертура объектива – это максимальный угол, под которым могут попадать в объектив лучи, прошедшие через препарат. Числовая апертура (A) определяется по формуле:

$$A = n \sin \alpha,$$

где n – показатель преломления среды между предметом и объективом (при обычных исследованиях такой средой является воздух, показатель преломления которого равен 1,003); α – апертурный угол, равный половине угловой апертуры (рис. 56).

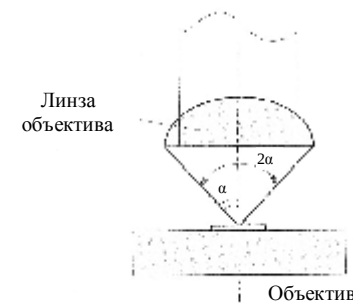


Рис. 56. Апертурный угол

Согласно дифракционной теории Э. Аббе линейный предел разрешения микроскопа зависит от длины волны и числовой апертуры микроскопа. Числовая апертура объективов всегда гравировается на их оправках.

Существует два пути увеличения разрешающей способности.

Разрешающая способность микроскопа также зависит от апертуры конденсора. Если считать апертуру конденсора равной апертуре объектива, то формула разрешающей способности следующая: $d = \lambda/2A$.

Из формулы видно, что при наблюдении в видимом свете (зеленый участок спектра, $\lambda = 550$ нм) разрешающая способность (предел разрешения) микроскопа не может быть больше 0,2 мкм. Повысить разрешающую способность можно, увеличив угол светового конуса как со стороны объектива, так и со стороны источника освещения. Благодаря этому возможно собрать в объективе более преломленные лучи света от очень тонких структур. Таким образом, первый путь повышения разрешения – это использование конденсора, числовая апертура которого соответствует числовой апертуре объектива.

Другой путь повышения разрешающей способности микроскопа – это увеличение апертуры объектива.

Апертура сухих систем (между фронтальной линзой объектива и препаратом – воздух) не может быть более 1 (обычно не более 0,95). Жидкость, помещенная между препаратом и объективом, называется иммерсионной жидкостью или иммерсией, а объектив, рассчитанный на работу с иммерсионной жидкостью, – иммерсионным. Благодаря иммерсии с более высоким показателем преломления, чем у воздуха, отклоненные мельчайшими деталями объекта лучи света не рассеиваются, выходя из препарата, и попадают в объектив, что приводит к повышению разрешающей способности (рис. 57). Оптимальное значение показателя преломления, рекомендуемое для иммерсионных жидко-

стей, составляет 1,51. В комплектах современных микроскопов имеются так называемые иммерсионные объективы. При их использовании между предметом и объективом помещается иммерсионная жидкость, показатель преломления которой может равняться 1,7–1,9.

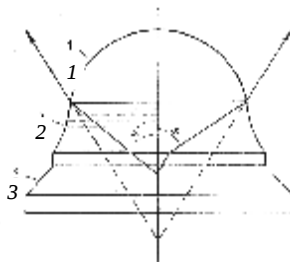


Рис. 57. Ход лучей в иммерсионном объективе:

1 – линза объектива; 2 – среда с показателем преломления n ; 3 – объект; α – угол преломления лучей, отраженных от объекта, в воздухе; α' – угол преломления лучей, отраженных в среде

Полезное увеличение микроскопа – это видимое увеличение, при котором глаз наблюдателя будет полностью использовать разрешающую способность микроскопа, т. е. разрешающая способность микроскопа будет такая же, как и разрешающая способность глаза. Для того чтобы полностью использовать возможности микроскопа, объектив и окуляр должны соответствовать друг другу и возможностям зрения. Полезное увеличение микроскопа определяется интервалом $500A \leq \Gamma_m \leq 1000A$. С помощью данной формулы можно подбирать объективы и окуляры для совместного использования при исследованиях различных объектов экспертизы.

Например, для исследования объекта имеется объектив с увеличением $15\times$ и апертурой 0,30. Какие окуляры можно использовать с данным объективом?

Определим полезное увеличение микроскопа:

$$500 \cdot 0,30 \leq \Gamma_m \leq 1000 \cdot 0,30; 150 \leq \Gamma_m \leq 300.$$

Определим увеличение окуляра:

$$\Gamma_{ок} = \frac{\Gamma_m}{\Gamma_{об}} = \frac{150 - 300}{15} = 10 - 20\times.$$

Таким образом, с данным объективом можно использовать любые окуляры, увеличение которых находится в этом интервале.

Не менее важной характеристикой микроскопа является **глубина резкости**. Под ней понимается расстояние вдоль оптической оси светового микроскопа, в пределах которого обеспечивается возможность наблюдения резкого изображения объемного объекта.

В общем случае глубина резкости микроскопа определяется тремя факторами: аккомодационным, геометрическим и волновым. Численно она может быть выражена формулой

$$T = T_{ак} + T_{г} + T_{в} = \frac{250}{\Gamma_m} + \frac{250}{\Gamma_m \cdot A} + \frac{n}{2A^2}.$$

В практике производства судебных экспертиз, как правило, пользуются небольшими увеличениями, поэтому определяющим будет аккомодационный фактор.

Основными оптическими деталями светового микроскопа являются объектив и окуляр.

Объектив – это сложная оптико-механическая конструкция, которая, воспринимая пучок лучей с большим апертурным углом, исходящий от небольшого в сравнении с ее фокусным расстоянием участка объекта, образует в микроскопе промежуточное изображение объекта на конечном расстоянии или в бесконечности с соответствующим увеличением, разрешением элементов, точностью воспроизведения по форме и цвету объекта исследования.

Объективы состоят из нескольких одиночных линз и компонентов, склеенных из двух или трех линз. Количество линз обусловлено кругом решаемых объективом задач. Чем выше качество изображения, даваемое объективом, тем сложнее его оптическая схема. Общее число линз в сложном объективе может достигать до 14 (это в частности относится к планхроматическому объективу с увеличением $100\times$ и числовой апертурой 1,40).

Объектив состоит из фронтальной и последующей частей. Фронтальная линза (или система линз) обращена к препарату и является основной при построении изображения соответствующего качества, определяет рабочее расстояние и числовую апертуру объектива. Последующая часть в сочетании с фронтальной обеспечивает требуемое увеличение, фокусное расстояние и качество изображения, а также определяет высоту объектива и длину тубуса микроскопа. Чем больше числовая апертура объектива, тем более мелкие детали он может разрешать. Объективы для микроскопов бывают разных типов: апохроматы, иммерсионные, сухие и т. д. На корпус объектива наносятся следующие характеристики:

кратность увеличения: $8\times$, $40\times$ и т. д.;

числовая апертура: 0,20; 0,65 и т. д.;

дополнительная буквенная маркировка, если объектив используется при различных методах исследования: П (Pol) – поляризационный, Л (L) – люминесцентный, Ф – фазовый и т. д.;

тип оптической коррекции, например План (Pl, Plan) – планахромат, объектив с исправленной аберрацией.

Окуляр – оптическая система микроскопа, образующая видимое глазом наблюдателя, увеличенное изображение промежуточного изображения объекта, создаваемого объективом. Окуляры состоят из двух групп линз: глазной, которая расположена ближе к глазу наблюдателя, и полевой, которая расположена ближе к плоскости, где строит изображение объектив.

На оправе окуляра указываются:

линейное увеличение: $7\times$, $10\times$ и т. д.;

линейное поле зрения (мм): 18, 20, 22 и т. д.;

тип коррекции (Pl) или компенсация хроматической разности увеличения (K).

Если на оправе больше нет никаких обозначений, то такой окуляр предназначен для визуального наблюдения. Если на оправе написано «фото» или «ф», то такой окуляр предназначен для фотографирования изображения.

Наиболее распространены объективы с увеличением от 3 до $90\times$ окуляры – от 5 до $15\times$. Таким образом, общее увеличение микроскопа лежит в пределах от 15 до $1\,350\times$. В теории предельное увеличение оптического микроскопа – до $2\,000\times$.

Для исследования объектов с помощью микроскопов необходимо освещение. Как правило, микроскопы имеют самостоятельную осветительную систему. В устройстве некоторых микроскопов имеется вогнутое зеркало, которое позволяет создать равномерную освещенность препарата естественным светом. Такая освещенность часто бывает недостаточной. Поэтому используются искусственные источники света. Для микроскопических исследований в качестве источника света используются лампы накаливания, галогенные, ртутные, газоразрядные лампы и т. п. В современных микроскопах для освещения используются светодиоды.

Конструкции осветительных систем могут быть различными, но все они должны содержать источник света и коллектор, представляющий собой собирающую линзу, направляющую свет на исследуемую поверхность. В более сложных микроскопах используются конденсоры.

Конденсор – это оптическая система, предназначенная для концентрации излучения в плоскости объекта в световом микроскопе. Конденсор состоит из нескольких линз, которые собирают и направляют лучи от источника света, в том числе и лучи, которые в его отсутствие проходят мимо объекта, в результате чего, повышается освещенность объекта. Таким образом, используя конденсор, можно регулировать не только яркость изображения, но и его контрастность, глубину резкости и равномерность освещения при наблюдении объектов под микроскопом в проходящем свете. Конденсор устанавливается между источником света и предметным столиком. Различают следующие типы конденсоров:

конденсор Аббе, состоящий из двух неахроматических линз – двояковыпуклой и плосковыпуклой, с апертурой 1,20. Имеет ирисовую диафрагму. Используется в большинстве стандартных микроскопов при работе с объективами, дающими увеличение $40\times$ и больше.

апланатический конденсор, состоящий из трех линз – плосковыпуклой, вогнутовыпуклой и двояковыпуклой, с апертурой 1,40 и ирисовой диафрагмой. Исправлен в отношении сферической аберрации и комы;

ахроматический конденсор – полностью исправленный в отношении хроматической и сферической аберрации;

конденсор темного поля. Лучи света направляются конденсором таким образом, что они не попадают напрямую во входное отверстие объектива. Изображение формируется светом, рассеивающимся на оптических неоднородностях образца. В ряде случаев метод позволяет исследовать структуру прозрачных объектов без их окрашивания.

На фронтальной части конденсора нанесена маркировка числовой апертуры.

В комплект современных исследовательских микроскопов входят, как правило, все вышеперечисленные конденсоры. Например, в комплект биологического микроскопа Olympus входят конденсор Аббе с числовой апертурой 1,10, ахроматический конденсор с числовой апертурой 0,90, ахроматический-апланатический конденсор с числовой апертурой 1,40, темнопольный сухой конденсор с числовой апертурой 0,80–0,92, темнопольный масляный конденсор с числовой апертурой 1,20–1,40, конденсор с 5-позиционной турелью для реализации метода светлого или темного поля и фазового контраста, конденсор малых увеличений.

В некоторых микроскопах, например в люминесцентных, наблюдают и фотографируют объект при освещении изображения сверху через *опак-иллюминатор* и объектив. Опак-иллюминатор встраивают

между тубусом и объективом микроскопа. Внутри опак-иллюминатора имеется полупрозрачная пластина, установленная под углом 45° к вертикали. Лучи от источника света падают на полупрозрачную пластину, отражаются от нее и через объектив попадают на объект, затем, отражаясь от объекта, снова проходят через объектив, после чего попадают на окуляр и в глаз наблюдателя (рис. 58).

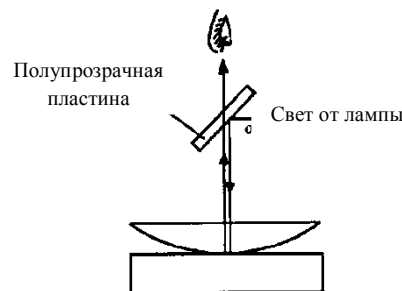


Рис. 58. Ход лучей в микроскопе с опак-иллюминатором

Для того чтобы освещение было близким к монохроматическому, на пути световых лучей устанавливают стеклянные светофильтры (желтый и зеленый). Желтый светофильтр пропускает свет с длиной волны 578 нм, зеленый – 546 нм.

Опак-иллюминаторы бывают двух видов: призмные – для работы с малым и средним увеличением и с плоским полупрозрачным стеклом – для работы при больших увеличениях.

Наибольшее распространение в экспертной практике получила **световая микроскопия** (в видимой зоне спектра). Структуру препарата, рассматриваемого через микроскоп, можно видеть лишь тогда, когда различные частицы препарата отличаются друг от друга и от окружающей среды по поглощению (отражению) света или по показателю преломления. Эти свойства обуславливают разность фаз и амплитуд световых колебаний, прошедших через различные участки препарата, т. е. контрастность изображения. Однако существуют такие задачи исследования, решение которых невозможно в рамках традиционных методов, поэтому были разработаны специальные методы. Техническая и методическая реализация этих методов очень сложна и требует специальных знаний и навыков. Методы микроскопии выбираются экспертом (и обеспечиваются конструктивно) в зависимости от характера и свойств изучаемых объектов, так как последние, как отмечалось выше, влияют на контрастность изображения. К методам световой микроскопии относятся метод светлого поля и его разновидности

(в проходящем, отраженном свете, косого освещения), метод темного поля и его разновидности (в проходящем, отраженном свете), поляризационная микроскопия, метод фазового контраста, исследование в свете люминесценции, наблюдение в ультрафиолетовых, инфракрасных лучах, метод интерференционного контраста.

Методы светлого поля широко применяются в экспертной практике для изучения широкого круга вещественных доказательств: изделий из металлов и сплавов, лакокрасочных покрытий, текстильных волокон, материалов документов, трасологических следов, минералов почвы и т. д.

Метод светлого поля в проходящем свете применяется для исследования прозрачных объектов с включениями. Здесь характерно прохождение лучей из конденсора через препарат в объектив, что дает равномерно освещенное поле в плоскости изображения. Элементы структуры препарата частично поглощают и отклоняют падающий на них свет, что и обуславливает возникновение изображения. Этот метод может быть полезен и при исследовании не поглощающих свет объектов, но лишь в том случае, когда они отклоняют или рассеивают освещающий пучок света настолько сильно, что значительная часть пучка не попадает в объектив.

При *методе светлого поля в отраженном свете* освещение препарата производится сверху через объектив, который одновременно выполняет роль конденсора. Изображение, как и при проходящем свете, создается за счет того, что различные участки препарата по-разному отклоняют и отражают падающий на них свет.

В *методе косого освещения* свет на объект направляют под большим углом к направлению наблюдения, в результате можно выявить «рельефность» объекта за счет образования теней.

Метод темного поля в проходящем свете применяется для получения изображений прозрачных объектов. Пучок лучей из конденсора темного поля выходит в виде полого конуса и непосредственно в объектив не попадает. В поле зрения микроскопа на темном фоне видны светлые изображения мелких деталей, тогда как у крупных деталей видны только светлые края, которые рассеивают освещающие лучи. Изображение создается только светом, который рассеивается мелкоструктурными элементами препарата.

По такому изображению нельзя с полной определенностью делать заключение об истинном виде и форме элементов структуры. Конденсор темного поля требует применения предметного стекла, толщина которого 1–2 мм. Кроме того, конденсор должен быть хорошо центрирован относительно объектива.

Наиболее часто метод темного поля в проходящем свете используют в экспертном исследовании текстильных волокон, наркотических средств, частиц стекла и пластмасс, минеральных компонентов почвы.

Метод темного поля в отраженном свете осуществляется путем освещения препарата, например шлифа металла, сверху с помощью специальной кольцевой зеркальной системы, расположенной вокруг объектива и называемой эпикондensorом. Изображение, как и при проходящем свете, создается только лучами, рассеянными объектом, тогда как лучи света, вышедшие из конденсора и зеркально отразившиеся от поверхности объекта, в объектив не попадают. Поэтому для работы необходимо применять очень яркие источники света.

Поляризационная микроскопия – это метод наблюдения в поляризованном свете анизотропных объектов или объектов, включающих оптически анизотропные элементы. При распространении света в анизотропных веществах, материалах (например, в прозрачных кристаллах) свет испытывает двойное лучепреломление и поляризуется различно в разных направлениях. Наблюдение можно проводить как в проходящем, так и в отраженном свете. Свет, излучаемый осветителем, пропускают через поляризатор. Сообщенная при этом свету поляризация меняется при последующем прохождении его через объект (или отражении от него). Эти изменения изучаются с помощью анализатора и различных оптических компенсаторов. Анализируя такие изменения, можно судить об основных оптических характеристиках анизотропных объектов.

Поляризационная микроскопия используется в экспертных исследованиях биологических объектов, текстильных волокон, минералов почвы, зерен в шлифах сплавов металлов и т. д.

Метод фазового контраста имеет большое практическое значение для исследования прозрачных и бесцветных объектов, которые невидимы при обычных методах микроскопии. К числу таких объектов относятся, например, осколки стекла, минералогические объекты, объекты биологического происхождения, например живые неокрашенные ткани. Метод основан на том, что даже при малом различии показателей преломления объекта и среды световая волна, прошедшая сквозь них, претерпевает разные изменения по фазе и приобретает фазовый рельеф. Темные и светлые места в фазово-контрастном изображении соответствуют различным показателям преломления в препарате (фазовый контраст), которое с помощью специального электронного оптического устройства преобразуется в ослабление или усиление интенсивности света, прошедшего сквозь объект (т. е. фазовый рельеф волны заменяется амплитудным рельефом). Так получается видимое изображение препарата.

Метод люминесцентной микроскопии использует явление люминесценции, при котором объект начинает светиться при облучении ультрафиолетовым или синим светом. В данном методе также возможна специальная обработка объекта флуоресцирующими красителями. При этом наблюдается цветная контрастная картина свечения, позволяющая выявить особенности объекта. Длинноволновое изображение препарата выделяется при помощи светофильтров. Данный метод используется для обнаружения следов нефтепродуктов и горюче-смазочных материалов на предметах-носителях, для доказательства наличия следов крови и выделений человека, при исследовании стекол, химических ловушек, идентификационных меток и любых люминесцирующих микрочастиц объектов судебной экспертизы с целью их обнаружения и дифференциации.

УФ-микроскопия позволяет увеличить предельную разрешающую способность микроскопа. Этот метод расширяет возможности микроскопических исследований за счет того, что частицы многих веществ и материалов, прозрачные в видимом свете, сильно поглощают УФ-излучение определенных длин волн и следовательно легко различимы в УФ-изображениях. Так, органические соединения имеют избирательное поглощение в ультрафиолетовой области спектра, благодаря чему они могут быть контрастными без окрашивания.

Для наблюдения в УФ-лучах оптические узлы микроскопа должны быть изготовлены из кварцевого стекла, прозрачного для них. Изображение в УФ-микроскопии регистрируют фотографированием, либо получаемую картину наблюдают на люминесцирующем экране.

УФ-микроскопия часто применяется для исследования биологических объектов.

Инфракрасная микроскопия позволяет эксперту проводить визуальный и химический анализ лекарственных препаратов, наркотических средств в виде таблеток, волос, волокон, чернил и красителей, стекла и т. д.

Метод интерференционного контраста состоит в том, что каждый луч раздваивается, входя в микроскоп. Один из полученных лучей направляется сквозь наблюдаемую частицу, другой – мимо нее по той же или дополнительной оптической ветви микроскопа. В окулярной части микроскопа оба луча вновь соединяются и интерферируют между собой. Результат интерференции определяется разностью хода лучей. Это дает широкие возможности для количественных исследований.

С помощью микроскопов можно производить **линейные измерения объектов малых размеров**. Это осуществляется с помощью сетки или шкалы, которые представляют собой стеклянные круглые пластинки с

нанесенной на них мерной сеткой или шкалой. Они устанавливаются прямо на фокальной плоскости окулярной линзы микроскопа и позволяют исследователю проводить точные измерения образца. В стерео- и бинокулярных микроскопах имеется только одна шкала или сетка в одной из линз. Линза, в которую устанавливается шкала или сетка, должна иметь оправу для них, а сама сетка или шкала быть соответствующего окулярной линзе диаметра. Сетку или шкалу можно установить на большинство микроскопов. Обычно они монтируются в окуляр $10\times$.

В комплект микроскопа входит и объект-микрометр (рис. 59). Он может работать и в проходящем, и в отраженном свете.



Рис. 59. Объект-микрометр

С помощью объект-микрометра определяют увеличение объективов в микроскопе, линейное поле зрения микроскопа, цену деления окулярных сеток, масштаб изображения при микрофотографировании.

Объект-микрометр представляет собой стеклянную пластинку, покрытую слоем хрома. На поверхность хрома нанесена шкала длиной 1 мм с ценой деления 0,01 мм. Стеклянная пластинка со шкалой вклеена в стальную оправу, имеющую размеры предметного стекла. Увеличение при визуальном наблюдении определяется сопоставлением числа делений изображения объект-микрометра, наблюдаемого через микроскоп, с числом делений сетки или шкалы окуляра или винтового окулярного микрометра. Увеличение при фотографировании определяется измерением на фотоснимке расстояния между штрихами сфотографированного изображения объект-микрометра.

Эксперты в основном проводят измерения на микроскопах типа МБС. В комплект данных микроскопов входят два дополнительных окуляра: в одном имеется линейка, в другом – сетка. Линейка имеет цену деления 0,1 мм, а каждая сторона квадратной сетки равна 1 мм. В паспортах к этим микроскопам имеются таблицы, определяющие цену деления линейки и сетки в зависимости от положения галилеевой системы.

Кроме микроскопов, в которых имеются принадлежности для проведения измерений, существуют специальные *измерительные микроскопы*. Они являются наиболее универсальными и широко распространенными оптико-механическими приборами. Инструментальные микроскопы предназначены для измерения линейных и угловых раз-

меров объектов сложной конфигурации в прямоугольных и полярных координатах. Измерения могут производиться проекционным методом (в проходящем и отраженном свете) и методом осевого сечения. Погрешность измерений, выполненных с помощью измерительных микроскопов, исключительно высока и составляет 0,001 мм, что вполне соответствует требованиям судебной экспертизы.

Для проведения исследований методами световой микроскопии используют микроскопы различных систем и назначения.

Большинство микроскопов, используемых в экспертных исследованиях, являются *стереоскопическими*, в них можно наблюдать объемное изображение объекта за счет рассматривания его через два окуляра двумя глазами (рис. 60). Микроскопы бинокулярные стереоскопические (МБС) используют для исследования объектов как в проходящем, так и в отраженном свете. Это наиболее распространенные в экспертных учреждениях микроскопы, они применяются для исследования как объектов биологической природы (волосы, следы тканей и выделений и т. д.), так и документов, металлов, лакокрасочных покрытий, волокон, стекла и т. д.

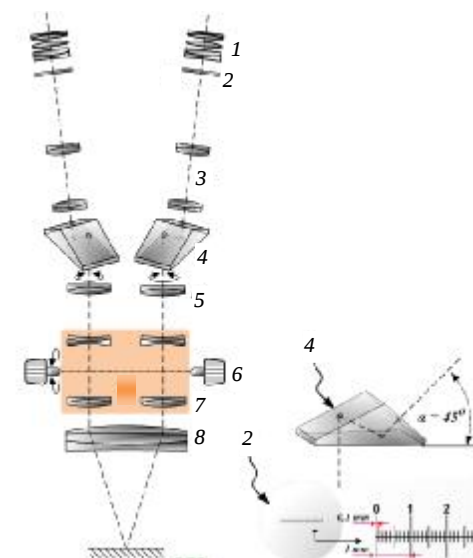


Рис. 60. Оптическая схема современного стереоскопического микроскопа:

- 1 – окуляр; 2 – окулярная шкала; 3 – оборачивающая система линз; 4 – призма;
- 5 – внутренний объектив; 6 – ручка переключения объективов; 7 – система поворачивающихся объективов; 8 – объектив

Широкое распространение в экспертных исследованиях находят *сравнительные микроскопы*, имеющие спаренную оптическую систему, позволяющую одновременно проводить сравнительное исследование двух объектов (рис. 61).



Рис. 61. Сравнительный микроскоп Leica FS M

Для ряда специальных исследований используют люминесцентные микроскопы, микроскопы для работы в инфракрасном свете, металлографические микроскопы.

Современные микроскопы снабжены насадками для вывода увеличенного изображения объекта на экран и для его фотографирования. Микроскопы нового поколения снабжены телекамерами и персональными компьютерами, позволяющими выявлять признаки исследуемых объектов и проводить сравнительное исследование объектов по этим признакам с помощью специальных программ.

Световые микроскопы позволяют исследовать объекты при увеличении до $2\,000\times$. Изображение в них формируется с помощью световых лучей и характеризуется достаточно низким разрешением ($0,2\text{ мкм}$) и малой глубиной резкости, что не всегда позволяет выявить особенности тонкого строения объекта. Более информативными являются электронные микроскопы, в которых изображение формируется с помощью электронных пучков, благодаря чему достигается высокое разрешение и большое увеличение, а в качестве фокусирующих линз применяются магнитные устройства.

Исследование с использованием *просвечивающих электронных микроскопов* дает возможность исследовать объект на просвет для установления его структуры (внутренней и поверхностной) и фазового состава кристаллических образцов. С помощью таких микроскопов достигается увеличение до $500\,000\times$ и разрешение $0,2\text{--}0,3\text{ нм}$, а компь-

ютерная обработка позволяет получать панорамное изображение структуры вещества в случае, если детали структуры не укладываются в поле зрения. Используя систему анализа изображения и специальные программы по обработке, рассчитывают такие параметры структуры, как число частиц (структурных составляющих или агрегатов), их размеры, коэффициенты формы, анизометрия, степень заполнения и т. д.

Просвечивающей электронной микроскопией (ПЭМ) исследуются объекты, как правило, требующие дополнительной пробоподготовки, приводящей к уничтожению или частичному повреждению их исходного состояния (за исключением метода реплик). Используются следующие методы подготовки объектов для анализа: получение реплик с объекта (когда исследуется не сам объект, а слепок с его поверхности), как, например, в случае металлов или волокнистых материалов; утонение объектов, приготовление фольги из металлов и сплавов; разрушение объектов с извлечением из них исследуемого компонента (сажи из резины, загустители смазок); получение ультратонких срезов (волокнистые и лакокрасочные материалы). С помощью ПЭМ определяют марку сажи в саженатолненных материалах (резина, тонер), причину разрушения изделия из металла по характеру излома, тип загустителя в смазке, вид волокнистого материала, фазовый состав кристаллического вещества.

При решении идентификационных задач ПЭМ используется для сравнения объектов по таким морфологическим признакам, как размер, форма микрочастиц (на поверхности или в следе). Следует отметить, что например, не могут быть решены задачи установления марки сажи в различных саженатолненных материалах и определения некоторых типов загустителей (в частности, парафинов) в смазочных материалах другими методами, кроме ПЭМ.

Необходимым оборудованием для проведения растровой электронной микроскопии (РЭМ) являются *сканирующие электронные микроскопы*. Такого рода приборы, дополнительно оснащенные рентгеновскими спектрометрами для определения элементного состава, должны быть неотъемлемой частью приборной базы каждого экспертного учреждения ввиду широты задач, решаемых с помощью этого оборудования. С помощью РЭМ исследуется топография поверхности различных образцов в твердом состоянии для изучения тонких особенностей морфологии и структуры веществ. В отличие от ПЭМ объектами исследования методом РЭМ являются вещества, материалы и изделия, как правило, не требующие дополнительной пробоподготовки, приводящей к их разрушению. Благодаря большим размерам камеры для образцов с помощью РЭМ можно исследовать не только микро-, но и макрообъекты (фрагменты изделий и некоторые изделия целиком).

Преимуществом РЭМ является большая глубина резкости при различных увеличениях: изображение на мониторе получается увеличенное, но реальное, объемное и относительно легко интерпретируемое. Современные микроскопы позволяют исследовать объекты при увеличении $300\,000\times$ и разрешении 3–5 нм. Линейный размер исследуемого объекта может варьироваться от нескольких микрон до 100 мм (расстояние, на которое может перемещаться столик образцов). Высота объекта исследования может быть до 100 мм, а вес – до 3 кг. С помощью РЭМ решаются следующие задачи: определение причины разрушения изделия из металла, состояния автомобильных ламп в момент их разрушения при ДТП, вида волокнистого материала (текстильные волокна, древесина, волосы), вида лакокрасочных покрытий (число и толщина слоев, форма частиц пигмента, вид грунта), обнаружение и определение продуктов выстрела, установление последовательности выполнения записей (исследование пересекающихся штрихов на материалах письма) и т. д.

При решении идентификационных задач метод РЭМ используется для сравнения объектов по параметрам тонкой структуры (размер, форма, распределение и плотность частиц). Следует отметить, что во многих экспертных учреждениях (в большей степени зарубежных) сканирующие электронные микроскопы, оснащенные спектрометрами, в основном используются для обнаружения и определения следов продуктов выстрела на различных предметах-носителях. Исследуются микрочастицы, перенесенные на липкую ленту с рук и одежды подозреваемого в стрельбе. С помощью автоматизированной системы поиска и анализа из всей массы извлеченных частиц выбираются микрочастицы (невидимые глазом и в поле зрения светового микроскопа), которые по характерным морфологическим признакам (размер, форма) и элементному составу принадлежат продуктам выстрела. Ни один из других методов не позволяет в категорической форме решить задачу обнаружения продуктов выстрела.

Использование специальных знаний в разных областях науки, техники, искусства и ремесла в форме проведения исследований для решения задач следствия и суда является эффективным способом установления существенных обстоятельств расследуемого преступления. Методы и средства судебной экспертизы все время совершенствуются на основе новейших достижений в физике, химии, математике и других естественных науках, создаются новые и совершенствуются имеющиеся методики исследования. Развитие аналитической техники и появление высокоэффективных приборов, сочетающих в себе возможности нескольких методов (тандемные методы), позволили расширить круг решаемых экспертных задач. Такие исследования выполняют эксперты, имеющие специальные знания в химии, физике и в исследовании веществ, материалов и изделий из них.

Эксперты, владеющие специальными знаниями в области традиционных судебных экспертиз, также используют относительно несложные химические методы в решении экспертных задач.

Эксперты должны иметь представление о современных аналитических методах исследования, так как многие экспертизы носят комплексный характер и проводятся с использованием комплекса современных аналитических методов.

4.1. Понятия качественного и количественного анализа

Аналитические методы исследования изучает наука аналитическая химия. В ней можно выделить три крупных направления исследований: общие теоретические основы, разработка методов анализа, аналитическая химия отдельных объектов. В зависимости от цели анализа различают качественный анализ и количественный анализ.

Качественный анализ состоит в обнаружении отдельных элементов (ионов, групп атомов или молекул), из которых состоит анализируемое вещество. Он устанавливает химический состав исследуемого объекта и идентифицирует объект. При исследовании состава

ва неизвестного вещества сначала проводят качественный анализ, а потом – количественный, так как выбор метода количественного определения состава исследуемого вещества зависит от результатов качественного анализа.

Количественный анализ состоит в установлении количественного соотношения составных частей исследуемого соединения или смеси веществ.

Существует также и полуколичественный анализ, являющийся промежуточным звеном между качественным и количественным.

В зависимости от веществ различают **органический** и **неорганический анализ**.

К основным требованиям к методам аналитической химии относят: точность, сходимост ь измерений, правильность, воспроизводимость результатов анализа, низкий предел обнаружения, селективность, экспрессность, возможность математизации и автоматизации.

Точность измерений – качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Высокая точность измерений соответствует малым погрешностям всех видов, как систематических, так и случайных. *Сходимость измерений* – качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в одинаковых условиях (одним и тем же средством измерений, одним и тем же оператором). *Правильность результатов анализа* – это близость полученных результатов к истинному значению, с систематическими погрешностями, близкими к нулю. *Воспроизводимость результатов анализа* характеризует качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в различных условиях (в различное время, в разных местах, разными методами и средствами измерений). *Низкий предел обнаружения* характеризует возможность определения малого содержания анализируемого компонента в пробе. *Селективность* (избирательность) метода характеризует возможность определения исследуемого вещества в присутствии посторонних веществ. *Экспрессность* – быстрота выполнения анализа.

Математическая обработка результатов анализа, в том числе с использованием ЭВМ, имеет существенное значение. Для оптимизации условий анализа используют различные разделы математики (например, теорию информации, теорию распознавания образов). ЭВМ применяются не только для обработки результатов, но и для управления приборами, учета помех, градуировки, планирования эксперимента.

4.2. Химические методы исследования объектов экспертизы

Химические методы основаны на химических превращениях. В ходе реакции изменяются параметры, связанные с расходом исходных веществ или образованием продуктов реакции. Эти изменения протекают в растворах и приводят к образованию осадков, окрашенных соединений, кристаллов или газообразных веществ, которые можно наблюдать визуально. Химические процессы, используемые в целях анализа, называют аналитическими реакциями. Вещества, вызывающие химические превращения, называют реактивами или реагентами. Аналитические реакции проводятся путем введения в исследуемый раствор определенных реактивов (реагентов), дающих с открываемым веществом (ионом) характерный продукт взаимодействия. Такие реакции называются характерными.

О том, что реакция произошла, а следовательно в пробе имеется искомое вещество, судят по аналитическим признакам: выпадению осадка, выделению газов (пузырей), появлению специфического запаха, изменению окрашивания и др. Например, при взаимодействии Ba^{2+} с растворами, содержащими SO_4^{2-} , образуется белый осадок BaSO_4 . Эту реакцию проводят, когда необходимо подтвердить наличие следов серной кислоты на объекте.

Осадок может иметь определенный цвет, форму и т. п. Реакции, сопровождающиеся изменением окраски раствора, а также появлением окрашенного осадка или микрокристаллов, называют цветными реакциями. Каждое вещество (ион) может быть обнаружено с помощью одной или нескольких характерных реакций, отличающихся чувствительностью.

Чувствительность реакции выражается в минимальной концентрации вещества, при которой оно может быть открыто при помощи данного реактива (предельном разбавлении). Величину предельного разбавления выражают отношением массы определяемого вещества к массе наибольшего количества растворителя, в котором это вещество может быть обнаружено.

Для характеристики чувствительности используют также понятие «открываемый минимум» – количество массы данного вещества, которое содержится в наименьшем объеме раствора минимальной концентрации, достаточной для открытия этого вещества. Численные значения открываемого минимума очень малы, поэтому их выражают не в граммах, а в гаммах: $1 \text{ гамм} = 1 \text{ мкг} = 10^{-3} \text{ мг}$.

В экспертной практике характерные аналитические реакции обычно проводят в микропробирках.

При исследовании следовых количеств веществ применяют капельный и микрокристаллоскопический анализ.

Капельный анализ – метод качественного или полуколичественного анализа, в котором исследуемое вещество и реагенты берутся в незначительных количествах (несколько капель). При этом проба может быть как в виде раствора, так и в сухом виде. Реакцию проводят на фильтровальной бумаге, фарфоровой пластинке, предметном стекле с лункой, прямо на образце.

Микрокристаллоскопия – метод качественного микрохимического анализа, основанный на образовании кристаллов характерной формы при действии реактивов на каплю исследуемого вещества. Микрокристаллоскопические реакции проводятся точно так же, как и при капельном анализе, но только на плоском предметном стекле. Образовавшиеся кристаллы исследуются под микроскопом. Например, микрокристаллоскопическая реакция с уранилацетатом ($\text{UO}_2(\text{CH}_3\text{COO})_2$), в результате которой образуется желтоватый кристаллический осадок, имеющий форму тетраэдров или октаэдров, специфична для ионов натрия (рис. 62).



Рис. 62. Кристаллы уранилацетата натрия

Химические методы достаточно широко используются для решения экспертных задач. Квалифицированное их применение требует специальных знаний, которыми многие судебные эксперты не обладают. Тем не менее и им в ряде случаев приходится применять некоторые из них. В частности, для обнаружения потожировых следов рук используются цветные реакции. Например, используются в качестве реагентов азотно-кислое серебро, нингидрин, кристаллический фиолетовый краситель, суданский черный краситель. Каждое из этих веществ избирательно реагирует с тем или иным компонентом следа, образуя характерное окрашивание. Например, азотнокислое серебро вступает в реакцию с ионами хлоридов, которые содержатся в потожировом веществе. Образующийся при этом хлорид серебра имеет белый цвет и выпадает в осадок. Но хлорида столь мало, что увидеть этот осадок по цвету невозможно, поэтому его «проявляют» – засвечивают так же, как засвечивается на свету лю-

бой галогенид серебра – чувствительный компонент любого фотоматериала. Для следов рук отработана методика засвечивания с применением солнечного света, УФ-лучей и т. п.

Для выявления ионов металла в продуктах выстрела, в пояске обтирания или на поверхности мишени применяют диффузно-контактный метод, в основу которого положены также цветные качественные реакции. Метод заключается в растворении соединений металла на объекте-носителе в растворе реактива-растворителя, переносе его с объекта-носителя на фотобумагу за счет диффузии ионов и выявлении ионов металла на фотобумаге чувствительными качественными химическими реакциями с изменением окраски. Например, ионы сурьмы, которая мало распространена в природе и характерна для продуктов выстрела некоторыми видами патронов, окрашиваются в малиново-розовый цвет. Для ионов свинца на контактограмме характерно коричневое окрашивание, для ионов меди – оливково-зеленое окрашивание.

Капельные реакции широко применяются в судебной технической экспертизе документов для установления природы веществ, используемых для травления. В качестве травящих веществ используют сильные окислители: марганцевокислый калий, хлорную воду, хлорную известь, хлорамины, гипохлориты натрия и калия, перекись водорода, персульфаты аммония, сернистые соединения, органические кислоты (щавелевая, лимонная, уксусная и др.), минеральные кислоты и щелочи, средства бытовой химии (отбеливатели и пятновыводители, моющие средства). Установить, что именно эти вещества использовались для травления, можно с помощью цветных качественных реакций. Например, для определения ионов марганца к полученной вытяжке веществ с места травления добавляют 2–3 капли 1%-го раствора азотно-кислого серебра, несколько кристаллов персульфата аммония и 2–3 капли 10%-й азотной или серной кислоты. После подогревания смеси до 50 °С появляется красное окрашивание, что свидетельствует о присутствии ионов марганца. Для определения ионов калия к полученной вытяжке веществ с места травления добавляют 10%-й раствор платинохлористоводородной кислоты. В результате реакции образуются блестящие лимонно-желтые октаэдры и комбинации куба с октаэдрами. Исследования проводят под микроскопом. В выводе эксперт указывает, что он обнаружил в исследуемой вытяжке и ионы марганца и калия и эти признаки свидетельствуют о том, что травление производилось сильным окислителем – марганцевокислым калием.

Цветные химические реакции также положены в основу экспресс-анализа наркотических средств и психотропных веществ, взрывчатых веществ, биологических веществ (кровь, сперма) и т. д.

Все исследования при помощи аналитических реакций являются лишь предварительными; они не исключают последующего экспертного исследования.

Также к химическим методам, которые применяются в судебной экспертизе, относятся гравиметрический, титриметрический и пирохимический.

В основе *гравиметрического метода* лежит измерение массы одного из продуктов реакции. Он может применяться в пробирном анализе при определении содержания драгоценных металлов в сплавах. Если определяют объем затраченного реагента с точно известной концентрацией, то такой метод называют *титриметрическим*. Методы гравиметрического и титриметрического анализа применяются в исследованиях фальсифицированных пищевых продуктов; в судебной экспертизе веществ почвенного происхождения для определения зольности, влажности, кислотности объектов; для определения содержания сахаров, белков и т. д. Эти методы трудоемки и длительны и в экспертной практике применяются редко.

Пирохимический анализ включает в себя методы определения некоторых химических элементов, основанные на нагревании исследуемого твердого вещества или материала или его сплавлении с соответствующими реагентами. Одни вещества плавятся при определенной температуре, другие разлагаются с образованием газообразных продуктов или осадка. При пирохимическом анализе исследуемое вещество нагревают в пламени газовой горелки. Только летучие соли (хлориды, нитраты, карбонаты) ряда металлов окрашивают пламя в определенный цвет. Например, соли натрия окрашивают пламя в желтый цвет, калия – в фиолетовый, бария – в желто-зеленый, стронция – в карминово-красный. Нелетучие соли, такие как бораты, фосфаты, силикаты, перед внесением в пламя переводят в хлораты смачиванием концентрированной соляной кислотой. Другой способ пиротехнического анализа – получение окрашенных перлов (стекол). Для получения перлов оксиды и соли металлов сплавляют с тетраборатом натрия ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) или гидрофосфатом натрия-аммония ($\text{NaNH}_4\text{HPO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) и наблюдают окраску образующихся стекол (перлов). Например, железо дает желто-бурые перлы, хром – изумрудно-зеленые, кобальт – интенсивно-синие. В экспертизе данные методы применяют при определении типа полимера, пигментов в автоэмалиях и т. д. Они могут быть применены при предварительном исследовании, но не при проведении экспертизы.

Большинство химических методов не обладают чувствительностью, достаточной для обнаружения или количественного определения микроследов веществ и материалов или примесей в них, что очень

важно при идентификационных исследованиях, и в экспертизе применяются эпизодически. В судебной экспертизе широко применяют физические и физико-химические методы.

4.3. Инструментальные методы исследования объектов экспертизы

Инструментальные методы анализа основаны на существовании определенных зависимостей взаимодействия электромагнитного излучения различной длины волны с веществом. Вещество может поглощать часть падающей энергии, рассеивать ее или возбуждаться под действием энергии и испускать излучение, вид и интенсивность которого зависят от природы анализируемого вещества и концентрации его компонентов. Так как физические свойства веществ измеряются с помощью различных приборов – «инструментов», эти методы анализа называют инструментальными.

Экспертное исследование различных объектов, как микро- так и макрообъектов, как правило, начинается с проведения морфологического анализа, т. е. с изучения внешнего и внутреннего строения конкретных физических тел. Это могут быть не только осколки стекла, пластмассы, текстильные волокна, фрагменты металла, но и трасологические следы и т. п. В данных исследованиях применяют **методы микроскопии** – оптической и электронной.

Методы микроскопии могут быть качественными, т. е. давать информацию об особенностях строения поверхности, цвете и состоянии наблюдаемого объекта, или количественными, т. е. методами измерения размера микрочастиц, дефектов поверхности и т. д.

Методы микроскопии рассматривались в главе 3.

Методы спектроскопии применяются для определения состава, например, химического объекта. Они изучают спектры взаимодействия материи с излучением, включая спектры электромагнитного излучения, радиации, акустических волн, распределения по массам и энергиям элементарных частиц и т. д.

Для анализа элементного состава объектов применяются **методы атомной спектроскопии** – атомно-эмиссионный спектральный и атомно-абсорбционный спектральный анализ.

Атомно-эмиссионный спектральный анализ (АЭСА) – совокупность методов элементного анализа, основанных на изучении спектров испускания или эмиссионных спектров различных веществ. Эмиссионная спектроскопия требует «сжигания» пробы анализируемого вещества. В качестве источников высокой температуры используют пламя

горелки ($\approx 2\,000\text{--}3\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$), электрическую искру или дугу ($\approx 5\,000\text{--}7\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$), лазерную искру, индуктивно связанную плазму, тлеющий разряд и т. д., применение которых определяет разновидности методов АЭСА. При этом анализируемое вещество испаряется, диссоциирует на составляющие атомы или ионы, которые переходят в возбужденное состояние.

Атом – электронейтральная система, состоящая из ядра и некоторого числа электронов. Если атом поглощает энергию в ультрафиолетовой или видимой области, один или несколько электронов внешней валентной оболочки переходят в более высокоэнергетическое состояние, т. е. возбуждаются. Это состояние неустойчиво, и следовательно такие электроны почти немедленно возвращаются в основное состояние либо путем излучения света с энергией, характерной для данного атома, либо путем передачи энергии в результате столкновений с молекулами, атомами или ионами, присутствующими в ячейке атомизации. Свет, излучаемый раскаленными парами или газами, проходя через призму спектрометра, преломляется и разлагается на разные цвета. При этом наблюдается ряд отдельных цветных линий, составляющих вместе так называемый линейчатый спектр. Линейчатый спектр каждого элемента характеризуется постоянными спектральными линиями, соответствующими излучению с определенной длиной волны и частотой колебаний. По наличию этих линий можно судить о присутствии того или иного элемента в анализируемой пробе.

В современных спектрометрах для регистрации излучения применяются электронные устройства в комбинации с ЭВМ. Внедрение компьютеров позволяет использовать для идентификации вещества не только несколько отдельных характерных линий, а весь спектр, разрешенный с точностью до нанометра.

В зависимости от источника возбуждения (дуга постоянного и переменного тока, искра, пламя, лазер, индуктивно связанная плазма) выделяют следующие методы атомно-эмиссионной спектроскопии, которые используются в экспертной практике: эмиссионный спектральный анализ в дуге постоянного или переменного тока, в искре; эмиссионная фотометрия пламени; эмиссионный лазерный микроспектральный анализ; спектроскопия с индуктивно связанной плазмой.

Методы эмиссионного спектрального анализа дают возможность проведения многоэлементного анализа одновременно до 20–40 элементов основы и примесей. С их помощью решаются идентификационные задачи, когда содержание примесных элементов является групповым признаком объектов, сравниваемых по технологии изготовления либо по условиям существования. Методики такого уровня разработаны в

отношении лакокрасочных покрытий и материалов, металлов и их сплавов, стекла, бумаги (включая денежные купюры и ценные бумаги), наркотических средств и психотропных веществ, горюче-смазочных материалов и т. д.

Выбор метода определяется главным образом количеством вещества, подлежащего исследованию, а также необходимостью его сохранности. Например, метод микроспектрального анализа позволяет определить элементный состав образца практически без повреждения.

Атомно-эмиссионный спектральный анализ был разработан немецкими учеными Г.Р. Кирхгофом и Р.В. Бунзеном в 1859 г. С помощью этого метода они открыли элементы цезий и рубидий. В дальнейшем эмиссионная спектроскопия позволила открыть многие другие элементы.

В последнее время широкое распространение получил атомно-эмиссионный анализ с возбуждением спектров в высокостабильной индуктивно связанной плазме (ИСП-АЭС). Современные анализаторы на основе этого метода позволяют одновременно регистрировать все спектральные линии в ультрафиолетовом и видимом диапазонах. Программное обеспечение современных ИСП-АЭС-анализаторов способно автоматически рассчитывать концентрацию определяемых элементов по интенсивности их спектральных линий с коррекцией фона и возможных спектральных наложений. Такие анализаторы отличаются высокой точностью и продуктивностью. Однако данный метод в экспертной практике широкого распространения не получил из-за дороговизны оборудования.

Важным достоинством эмиссионно-спектрального метода по сравнению с другими оптическими спектральными, а также многими химическими и физико-химическими методами анализа является возможность бесконтактного экспрессного одновременного количественного определения большого числа элементов в широком интервале концентраций с приемлемой точностью при использовании малой массы пробы.

Атомно-абсорбционный спектральный анализ (ААСА) – совокупность методов элементного анализа, основанных на изучении спектров поглощения анализируемых веществ. Каждое вещество поглощает или отражает определенное количество света. Величина поглощения или отражения света определяется природой анализируемого вещества и его концентрацией в растворе. Атомизацию вещества осуществляют, распыляя его раствор в пламени газовой горелки (пламенный вариант) или испаряя сухой остаток раствора в печи при температуре до $3\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ (электротермический вариант). Затем через получаемый атомный пар

пробы пропускают линейчатое видимое или УФ-излучение определенной длины волны, соответствующее атомному спектру определяемого элемента. На выходе этот поток квантов должен ослабеть. Положение полосы поглощения в спектре зависит от природы определяемых атомов, а уменьшение интенсивности поглощения – от количества этих атомов.

В основном этот метод используется для анализа растворов, поэтому такие объекты, как, например, металлы, требуется предварительно растворить. В экспертной практике электротермический вариант метода наиболее широко используется для определения в смывах с рук и на одежде стрелявшего элементов, входящих в состав продуктов выстрела – сурьмы, свинца и бария (элементов капсюльного состава боеприпасов). В отличие от электронно-зондового микроанализа в данном случае вопрос о наличии продуктов выстрела решается, как правило, в условной форме из-за фоновое содержания указанных элементов в бытовых загрязнениях и невозможности их дифференциации. Пламенным вариантом метода определяется содержание меди в месте огнестрельного повреждения при установлении дистанции выстрела из некоторых видов оружия. Кроме того, ААСА применяется для определения содержания тяжелых металлов в питьевой воде, пищевых продуктах, почве, растениях, биоматериалах (кровь, моча), спиртосодержащих жидкостях, а также для установления количества драгоценных металлов (золото, серебро) в сплавах.

Для анализа *молекулярного состава* объектов применяют спектроскопию (спектрофотометрию) в видимой, ультрафиолетовой и инфракрасной областях, люминесцентные методы, радиоспектроскопию.

С помощью *видимых и УФ-лучей* изучают электронные переходы в молекуле и определяют энергию перехода электронов, ее энергию ионизации и энергию химической связи. Энергию химической связи определяют при действии излучения, вызывающего диссоциацию молекул. По известным спектрам молекул и их фрагментам можно судить об их присутствии в исследуемом соединении и тем самым предположить их состав и строение.

Спектроскопия в видимой и ультрафиолетовой областях спектра в экспертизе в основном используется при определении концентрации веществ (активные компоненты в наркотических средствах и психотропных веществах, добавки в различных полимерных материалах, гумусовые кислоты в почвах и т. д.), а также при исследовании окрашенных веществ (установление марки красителей, входящих в состав различных материалов). Метод имеет высокую чувствительность, избирательность и точность. Для решения указанных задач достаточно

микроколичества пробы. Данный метод не пригоден для определения природы неизвестного вещества в силу малой информативности получаемых спектров, которые в большинстве случаев состоят из одной или нескольких достаточно широких полос. Исключение составляют некоторые лекарственные препараты, спектры которых представляют собой индивидуальную совокупность полос поглощения, позволяющую с использованием информационно-поисковой системы установить искомое вещество.

С помощью *инфракрасных лучей* исследуют колебательный спектр молекул. Для каждой из атомных группировок (молекул или их фрагментов) характерны определенные виды колебаний (валентные, деформационные) и соответствующие этому значения волновых чисел. Присутствие в ИК-спектре соответствующих атомных группировок позволяет высказать предположение о составе и структуре соединений.

К достоинствам ИК-спектроскопии относятся исследования объектов в любом агрегатном состоянии, неразрушающий характер, экспрессность и информативность анализа, доступность аппаратуры.

Для проведения исследования используют классические спектрофотометры и Фурье-спектрометры.

В экспертной практике для исследования микрообъектов используется ИК-микроскоп, соединенный с Фурье-спектрометром, что позволяет оператору видеть образец и проводить его юстировку, выбирая для анализа определенный участок.

Инфракрасную спектроскопию применяют для определения практически любой функциональной группы, строения молекул и для идентификации соединений. В экспертной практике методы ИК-спектроскопии применяются для установления вида и марки клеев; вида полимерных материалов, лакокрасочных материалов; природы и вида наполнителей и активных компонентов фармпрепаратов, наркотических средств, психотропных веществ; загустителей для определения вида пластичных смазок; примесей и присадок для дифференциации нефтепродуктов и горюче-смазочных материалов и т. д.

Люминесцентный (флуоресцентный) анализ использует свечение исследуемого объекта, возникающее под действием ультрафиолетовых лучей. Молекулы вещества, поглощая энергию, переходят в возбужденное энергетическое состояние. Поглощенная энергия может расходоваться на фотохимические реакции, выделяться в виде тепла и т. д. Возвращаясь в нормальное состояние, молекулы вещества отдают часть поглощенной энергии в виде излучения с большей длиной волны. Свойство люминесцировать присуще не всем веществам, однако после

обработки их специальными реактивами люминесценция наблюдается у многих веществ. Длительность свечения является основной характеристикой люминесценции, позволяющей отличать ее от некоторых других явлений: рассеяния света, отражения света, теплового излучения и т. д. По длительности свечения различают флуоресценцию (свечение прекращается вместе с прекращением возбуждения молекулы) и фосфоресценцию (свечение продолжается в течение некоторого времени после прекращения возбуждения). В зависимости от природы источника энергии возбуждения различают следующие виды люминесценции: *фотолюминесценцию* (источник энергии возбуждения – свет), *хемилюминесценцию* (химическая реакция), *рентгенолюминесценцию* – рентгеновское излучение и т. д. В экспертной практике наибольшее распространение получил анализ, основанный на *фотолюминесценции* исследуемого вещества, возбуждаемой ультрафиолетовым излучением. Источниками ультрафиолетового света служат ртутные и ртутно-кварцевые лампы и УФ-лазеры. Регистрируют люминесценцию визуально, фотографически или фотоэлектрически.

В экспертной практике в основном применяют визуальную регистрацию объектов. На месте происшествия и при проведении экспертизы осматривают объекты при облучении их УФ-светом с целью обнаружения следов нефтепродуктов, микрочастиц стекла, различных идентифицирующих меток, биологических следов, следов травления текстов документов и т. д.

Современными приборами регистрации люминесценции являются спектрофлуориметры. В экспертной практике широкого использования эти приборы не получили, так как получаемые на них спектры неспецифичны, что затрудняет определение природы неизвестного вещества. Исключение составляют случаи качественного и количественного определения почти всех элементов по люминесцентным реакциям, когда специфический органический реагент добавляется к раствору неорганических веществ и вызывает яркую люминесценцию.

Радиоспектроскопические методы изучают взаимодействие вещества с излучением в радиочастотном диапазоне. Это метод ядерного магнитного резонанса и метод электронного парамагнитного резонанса.

Методы основаны на энергетических переходах, связанных с изменением магнитных моментов ядер или электронов. Данными методами регистрируют атомы, ядра которых обладают магнитным моментом. Это методы молекулярного анализа.

С помощью *метода ядерного магнитного резонанса* можно определить пространственную структуру вещества и идентифицировать его. Он используется при установлении структуры органических со-

единений и является единственным методом анализа последовательности и стереорегулярности биополимеров.

В экспертной практике метод ядерного магнитного резонанса используется при исследовании веществ неуставленной природы и любых веществ и материалов на основе органических соединений для их установления без изменения и разрушения объекта. Ограничением метода является его низкая чувствительность.

Метод электронного парамагнитного резонанса используется для исследования твердых, жидких и реже – газообразных образцов. В экспертной практике он применяется при установлении групповой принадлежности изделий из стекла по производственному источнику, групповой принадлежности тяжелых нефтепродуктов (мазут, битум, гудрон) по сырьевому источнику, давности выстрела из охотничьих ружей (по содержанию оксида азота в канале ствола) и т. д.

В связи с дороговизной приборов и необходимостью их обслуживания высококвалифицированными специалистами (сложная интерпретация получаемых результатов) методы ядерного магнитного резонанса и электронного парамагнитного резонанса используют только некоторые ведущие лаборатории стран мира.

Масс-спектрометрия – метод анализа вещества путем определения массы (чаще – отношения массы к заряду (m/z)) и относительного количества ионов, получаемых при ионизации исследуемого вещества или уже присутствующих в изучаемой смеси. Совокупность значений m/z и относительных величин токов этих ионов (относительных содержаний соответствующих ионов), представленная в виде графика (рис. 63) или таблицы, называется масс-спектром вещества.

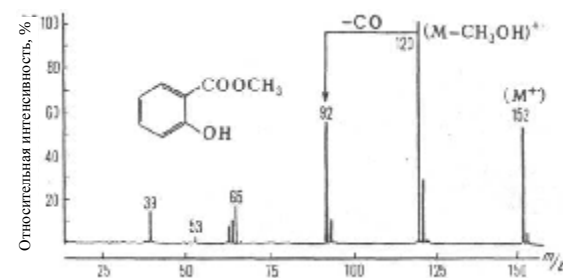


Рис. 63. Масс-спектр метилсалицилата

По спектру масс определяют относительное содержание элементов, изотопов определенного элемента, концентрацию и структуру химических соединений в образце.

Для изучения малых количеств веществ применяется масс-спектрометрия с искровым и лазерным источниками ионизации. Основными преимуществами такого анализа являются высокая чувствительность к примесям ($10^{-5} - 10^{-6} \%$) и возможность определять практически все элементы таблицы Менделеева.

Масс-спектральный анализ осуществляется на масс-спектрометрах – приборах для разделения ионизированных молекул и атомов по их массам, основанных на воздействии магнитных и электрических полей на пучки ионов, летящих в вакууме. Приборы, в которых регистрация осуществляется электрическими методами, называются масс-спектрометрами, а приборы с регистрацией ионов на фотопластинках – масс-спектрографами. Существенным шагом в развитии метода явилась компьютеризация масс-спектрометров, что позволило автоматизировать процедуру обработки спектров и управление масс-спектрометром. Методы используют для определения молекулярного состава органических веществ, элементного и изотопного состава веществ.

В настоящее время для анализа состава и молекулярной структуры сложных смесей в экспертных лабораториях используют главным образом сочетание двух методов – хроматографического и масс-спектрометрического. Хромато-масс-спектрометр разделяет вещества путем хроматографии и осуществляет последующий их анализ методом масс-спектрометрии.

В экспертной практике методом масс-спектрометрии идентифицируют индивидуальные вещества в смесях, примеси, исследуют наркотические средства и психотропные вещества, спиртосодержащие жидкости, взрывчатые вещества, проводят количественный анализ простых смесей и т. д.

Рентгеноспектральный анализ является очень чувствительным и точным методом элементного анализа и осуществляется в двух разновидностях: по первичному спектру – электронно-зондовый (локальный рентгеноспектральный) микроанализ, по вторичному рентгеновскому излучению – рентгенофлуоресцентный анализ. Он основан на определении длины волны рентгеновских лучей, спектр которых характерен для каждого химического элемента.

Методы рентгеноспектрального анализа используются при экспертном исследовании лакокрасочных материалов и покрытий, металлов, сплавов, криминалистических идентификаторов, лекарственных средств и т. д.

Применение данных методов, в частности рентгенофлуоресцентного анализа, дает возможность определять качественный и количест-

венный элементный состав неизвестных веществ и материалов, не уничтожая и не изменяя исходного объекта. Последний может быть затем исследован другими методами или использован в качестве эталона сравнения.

Электронно-зондовый микроанализ – это метод локального анализа, основанный на взаимодействии электронного пучка (зонда) с образцом, при котором возникает характерное рентгеновское излучение. Спектр рентгеновского излучения дает информацию об элементном составе образца в месте взаимодействия. Малый диаметр зонда (около 1 мкм) позволяет определять элементный состав вещества в объеме нескольких кубических микрометров, т. е. состав практически пылевидных частиц.

Электронно-зондовый микроанализатор обязательно снабжен микроскопом для точного выделения анализируемого участка образца.

Преимуществом метода является то, что исследование элементного состава происходит одновременно с его наблюдением; можно делать последовательный анализ различных точек или анализировать образец по глубине; возможность определять все элементы, от натрия до урана, с минимальным содержанием элемента в объекте.

Метод рентгенофлуоресцентной спектроскопии основан на получении вторичного рентгеновского излучения (флуоресценции) элементов, входящих в состав пробы, при облучении ее полихроматическим рентгеновским излучением.

Метод применяется при анализе металлов и сплавов, минералов, строительных материалов, а также при предварительном исследовании объектов неустановленной природы. Данным методом можно быстро провести многоэлементный (от натрия до урана) количественный и полуколичественный анализ твердых, жидких и порошкообразных образцов. Метод не разрушает образец, так как нет пробоподготовки. Процесс анализа с помощью современных приборов полностью автоматизирован. Широко применяются и портативные приборы.

Рентгенографический анализ – это исследование атомно-молекулярного строения веществ, основанное на изучении дифракции, возникающей при взаимодействии с исследуемым образцом рентгеновского излучения. Анализ дифракционной картины, возникающей при отражении рентгеновских лучей от атомных плоскостей кристалла, позволяет установить качественный и количественный фазовый состав вещества и определить параметры его кристаллической решетки и тонкой кристаллической структуры. Метод относится к неразрушающим и используется для исследования монокристаллов и поликристаллических веществ, в том числе и сложных смесей.

Существует несколько методов исследования веществ, основанных на дифракции рентгеновских лучей. В экспертной практике применяют рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализ. Прибором для такого анализа служит дифрактометр.

Рентгеноструктурный анализ позволяет определять ориентацию и размеры кристаллов, их атомное и ионное строение, изучать изменения, происшедшие в материалах под влиянием давления, температуры, влажности.

Рентгенофазовый анализ используется для установления качественного и количественного фазового состава объектов, имеющих кристаллическую структуру.

С помощью рентгенографических методов в экспертной практике исследуются кристаллические вещества неуставленной природы, взрывчатые вещества, определяется фазовый состав наполнителей и пигментов, сиккативов лакокрасочных материалов, наполнителей и активных веществ синтетических наркотических средств и психотропных веществ, бумаги и содержащихся в ней минеральных веществ: талька, слюды и т. д.

Хроматографические методы в экспертной практике наибольшее распространение получили в разделении и анализе веществ. Современные хроматографические методы считаются классическими методами разделения органических соединений, имеющих сходную структуру, и неорганических соединений с близкими химическими свойствами. Хроматографические методы используются для решения таких задач, как разделение сложных смесей веществ органической и неорганической природы, выделение из сложных смесей индивидуальных веществ, концентрирование веществ из сильно разбавленных растворов, очистка индивидуальных веществ от примесей, разделение изотопов редкоземельных элементов.

Разделение и анализ веществ хроматографическими методами основаны на распределении компонентов смесей веществ между двумя фазами, из которых одна неподвижная (стационарная), а другая – подвижная, продвигающаяся вдоль первой. Разделение происходит в том случае, если стационарная фаза проявляет различную сорбционную способность в отношении ионов или молекул разделяемой смеси. В качестве неподвижной фазы используют твердое вещество или жидкость, нанесенную на твердый инертный носитель. Подвижной фазой служит либо газ, либо жидкость, в которую вводят смесь разделяемых веществ.

Хроматографические методы классифицируют по нескольким основаниям:

по механизму разделения компонентов анализируемой смеси: адсорбционная, распределительная, ионообменная, осадочная хроматография и др.;

агрегатному состоянию подвижной фазы: газовая и жидкостная хроматография;

типу стационарной фазы и ее геометрическому расположению: колоночная, тонкослойная хроматография, хроматография на бумаге;

способу перемещения разделяемой смеси в колонке: элюентная, фронтальная, вытеснительная хроматография.

В простейшем варианте хроматографирование осуществляют на колонках (металлических, стеклянных, капиллярных), в которые помещают сорбент, служащий стационарной фазой. Хроматографическое разделение основано на том, что раствор, содержащий смесь анализируемых веществ, вместе с подвижной фазой (элюентом) пропускают через неподвижную фазу под действием силы тяжести или давлением. В результате различного взаимодействия компонентов смеси с сорбентом они перемещаются с разной скоростью и распределяются на сорбенте, образуя адсорбционные слои, называемые зонами. В зависимости от целей исследования разработаны различные варианты последующей обработки этих зон. В современной хроматографии (колоночной) элюирование проводят до тех пор, пока отдельные ионы или молекулы не выйдут один за другим из колонки. Каждый компонент регистрируется непосредственно на выходе из колонки с помощью разнообразных методов (фотометрические, рефрактометрические, потенциометрические и т. д.). В современной хроматографии для определения компонентов используют детектор с автоматической регистрацией, установленный на выходе из колонки. В результате получают график общего вида, который называется хроматограммой (рис. 64).

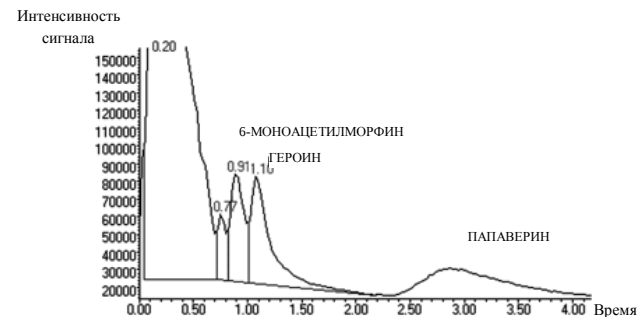


Рис. 64. Хроматограмма героина

Каждый пик на хроматограмме соответствует отдельному компоненту смеси, площадь каждого пика характеризует относительное содержание данного компонента в смеси.

В экспертном исследовании веществ и материалов хроматографические методы позволяют проводить разделение и определение качественного и количественного состава сложных смесей. Но в настоящее время более эффективными являются методы, сочетающие хроматографию с масс-спектрометрией, ИК-Фурье-спектроскопией.

По распространенности в экспертной практике выделяются газовая и жидкостная хроматография.

Газовая хроматография применяется для разделения и определения компонентов летучих смесей. В качестве подвижной фазы используют газ гелий, азот, аргон и др. В зависимости от агрегатного состояния неподвижной фазы газовую хроматографию делят на газо-жидкостную и газоадсорбционную. Разделение смесей проводят в хроматографах.

Основным критерием выбора метода газовой хроматографии является молекулярная масса исследуемых соединений. В анализе легких летучих веществ (от газов до спиртосодержащих жидкостей) применяют газоадсорбционную хроматографию, в случае анализа тяжелых летучих соединений (масса до 300 а. е. м.) – газо-жидкостную хроматографию.

Значительно расширяет возможности хроматографического анализа использование различных типов детекторов, которые условно можно разделить на *универсальные* (как, например, катарометры и пламенно-ионизационные детекторы, различающиеся по чувствительности на 2–3 порядка) и *селективные* (термоионный, электронозахватный, пламенно-фотометрический, фотоионизационный). Выбор селективного детектора обусловлен объектом и задачей исследования.

В экспертной практике методы газовой хроматографии применяются в определении вида наркотических средств и психотропных веществ, содержания активных компонентов в них, вида и марки нефтепродуктов, вида и классификационной категории растворителей, технических жидкостей, лекарственных препаратов, спиртосодержащих жидкостей и т. д.

Жидкостная адсорбционная хроматография применяется для разделения и анализа растворимых нелетучих соединений и неустойчивых при высоких температурах, разлагающихся при переводе их в газообразное состояние. Особенности всех видов жидкостной хроматографии обусловлены наличием жидкой подвижной фазы. Различают *колоночную* (в том числе *высокоэффективную*) и *планарную* (в том числе *тонкослойную*) жидкостную хроматографию.

Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) – разновидность жидкостной хроматографии, в которой подвижная фаза прокачивается под высоким давлением через колонку с неподвижной фазой. Для определения выходящих из колонки разделенных компонентов используют ультрафиолетовый абсорбционный детектор на фиксированную длину волны, спектрофотометрические детекторы с переменной длиной волны, флуориметрические и электрохимические детекторы.

ВЭЖХ позволяет исследовать практически любые объекты без ограничений по таким показателям, как температура кипения и молекулярная масса; все исследования можно проводить при комнатной температуре, что дает возможность исследования лабильных соединений. ВЭЖХ широко используется при анализе органических соединений: нефтепродуктов, взрывчатых веществ, наркотических средств, полимерных материалов и т. д.

В экспертной практике нашел широкое применение другой метод жидкостной хроматографии – *тонкослойная хроматография (ТСХ)*, в которой подвижная фаза перемещается по слою неподвижной фазы за счет капиллярных сил. Подвижной фазой в основном являются растворители, неподвижной фазой – силикагель, оксид алюминия, нанесенные тонким слоем на подложку (стеклянная, металлическая, полимерная). Основной характеристикой тонкослойной хроматографии является величина R_f , которая равна отношению расстояния, пройденного исследуемым веществом, к расстоянию, пройденному растворителем (рис. 65).

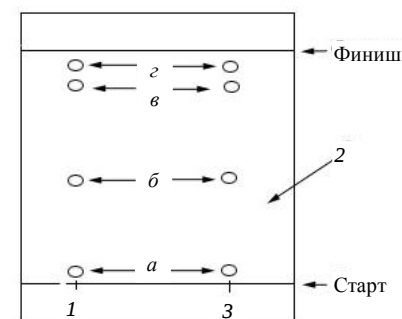


Рис. 65. Хроматограмма каннабиноидов марихуаны на силикагелевой пластине (система растворителей: гексан – октан – диэтиловый эфир 2 : 1 : 1):

1 – исследуемый образец; 2 – силикагелевая пластина; 3 – стандартный образец;
а – кислотная фракция, $R_f = 0,11$; б – каннабинол, $R_f = 0,43$; в – тетрагидроканнабинол, $R_f = 0,86$; з – каннабидиол, $R_f = 0,96$

При постоянстве условий опыта величина Rf определяется природой вещества, свойствами неподвижной фазы и растворителей; данный расчетный коэффициент используют для идентификации компонентов смеси в сравнении с эталонными растворами определяемых соединений.

Метод ТСХ применяется при исследованиях наркотических средств, психотропных веществ, фармпрепаратов, красителей текстильных волокон, красителей материалов письма, нефтепродуктов, горюче-смазочных материалов и т. д.

Электрохимические методы анализа основаны на измерении электрических параметров электрохимической реакции. Регистрируемый сигнал (сила тока, потенциал и т. д.) функционально связан с концентрацией или массой регистрирующих веществ. Так, например, при *электрогравиметрическом* методе измеряют массу металла, выделившегося на катоде в результате электролиза; при *потенциометрическом* – потенциал электрода, находящегося в исследуемом растворе; *кондуктометрическом* – электропроводность раствора, в котором протекает реакция; *полярографическом* – изменение силы тока с ростом напряженности при электролизе анализируемого раствора. Электрохимические методы в настоящее время в экспертных исследованиях практически не применяются.

4.4. Методы разделения и концентрирования

В судебной экспертизе материалов, веществ и изделий и биологических объектов в пробоподготовке веществ и материалов применяют методы разделения и концентрирования.

Методы разделения и концентрирования применяются для разделения сложных многокомпонентных смесей, выделения из смеси определяемого компонента, и повышения концентрации анализируемого компонента в пробе.

Разделение можно осуществить физическими (кристаллизация, выпаривание, дистилляция, экстракция, адсорбция, ионный обмен, осаждение, отгонка), физико-химическими или химическими (осаждение, образование летучего соединения, осаждение в процессе окислительно-восстановительного процесса) способами.

Так как **концентрирование** всегда связано с разделением и перераспределением веществ (компонентов) по различным фазам, то все методы, пригодные для разделения, используются и для концентрирования. К наиболее распространенным методам концентрирования следовых количеств веществ относятся экстракция, соосаждение, ионный обмен (ионно-обменная хроматография) и отгонка.

Экстракция (экстрагирование) – это один из видов фазового разделения веществ. Оно основано на том, что некоторые органические растворители, не смешивающиеся с водой, обладают свойством избирательно извлекать из водных растворов отдельные компоненты смесей. Разделение осуществляется благодаря различной растворимости компонентов в водном растворе и в органическом растворителе. После экстрагирования несмешивающиеся жидкости разделяют, сливая слой более тяжелой жидкости (если две фазы – жидкости) или отфильтровывая жидкую фазу от твердой (если две фазы – жидкость и твердое тело).

Экстрагирование применяют для извлечения активных компонентов из наркотических средств и психотропных веществ в экспертизе наркотических средств и психотропных веществ, для извлечения красителей из текстильных материалов, материалов письма, лакокрасочных материалов и покрытий и т. д. Методы экстракции применяют для извлечения следовых количеств веществ или материалов с объекта-носителя. Это могут быть нефтепродукты в пожарном мусоре, изъятом с очага пожара; взрывчатые вещества в почве, на преградах; специальные химические вещества на одежде преступника; наркотическое средство в шприце и т. д.

При экстрагировании исследуемого компонента, как правило, получают большой объем экстракта. В данном объеме экстракта содержится исследуемый компонент в следовом количестве в растворителе. Для удаления этого растворителя и проводится **выпаривание** либо в открытом сосуде, либо в закрытой системе. При выпаривании из раствора удаляются только летучие вещества, т. е. растворитель, в результате чего получается концентрированный раствор. В криминалистической экспертизе процесс выпаривания проводят после экстракции.

Дистилляция (перегонка) – разделение смеси жидкостей на отдельные составляющие испарением и последующей конденсацией пара. Данный процесс основывается на различных температурах кипения компонентов смеси. По условиям проведения различают три вида перегонки: при атмосферном давлении – применяется в экспертизе спиртосодержащих жидкостей для отделения этилового спирта из браги, самогона и т. д.; при пониженном давлении – перегонка в вакууме (используется ротаторный испаритель) применяется для понижения температуры кипения; с водяным паром – применяется для выделения компонентов лакокрасочных материалов, нефтепродуктов и горюче-смазочных материалов с предметов-носителей и т. д.

Отгонка – метод удаления и концентрирования легколетучих компонентов с их конденсацией на небольшой поверхности. В криминалистической экспертизе очень часто возникает необходимость в уда-

лении растворителя, которым проводилась экстракция искомого вещества. Обычно его отгоняют в ротормном испарителе, но можно и простым выпариванием подогревом либо без нагрева.

Адсорбция – метод очистки и повышения концентрации компонента, основанный на селективном поглощении жидкостей и газов поверхностным слоем твердого тела или жидкости. Вещество, на поверхности которого происходит адсорбция, называется адсорбентом (сорбентом), а поглощаемое вещество – адсорбатом.

Адсорбция является методом сбора следов запаха на местах происшествий. Все хроматографические методы основаны на различной адсорбционной способности компонентов сложных смесей по отношению к сорбенту. Адсорбция применяется в исследованиях веществ биологического происхождения.

Ионный обмен – это процесс, в результате которого ионы, находящиеся в твердой фазе, обмениваются с ионами, находящимися в растворе. В качестве твердой фазы используют природные или синтетические смолы и нерастворимые в воде высокомолекулярные кислоты и их соли. С помощью ионного обмена концентрируют следовые количества определяемых веществ, количественно разделяют компоненты сложных веществ, удаляют мешающие исследованию анионы. Обмен ионов лежит в основе ионообменной хроматографии.

Кристаллизация – метод выделения компонента из раствора, расплава или газовой фазы в твердую кристаллическую фазу с образованием кристаллов.

Осаждение – метод выделения компонента из раствора в виде твердой фазы. Для осаждения искомого компонента широко применяются обменные реакции с образованием труднорастворимого осадка. Данный метод применяется для осаждения гуминовых кислот минеральными кислотами при исследовании почвы, разделения пигментов и наполнителей при исследовании лакокрасочных материалов, извлечения тяжелых металлов в пластичных смазках и т. д. Осаждение применяется в гравиметрическом анализе.

Соосаждение – метод концентрирования компонента, находящегося в следовых количествах в растворе, захватом твердой фазой (коллектор), которую образует второй компонент, находящийся в растворе в значительно большей концентрации, чем искомым компонент. Этот метод можно применить, если в объектах судебной экспертизы концентрация искомого компонента настолько мала, что выделить его осаждением невозможно. В таком случае необходимо подобрать подходящий коллектор, с которым проводят соосаждение.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЭКСПЕРТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

При раскрытии и расследовании преступлений против жизни и здоровья граждан, против половой неприкосновенности или половой свободы наиболее часто объектами для проведения экспертиз становятся следы биологического происхождения, часто возникает необходимость в их идентификации, т. е. установлении принадлежности биологического следа на вещественных доказательствах конкретному лицу.

Под понятием «биологические следы» подразумевается любой биологический материал, происходящий от человека и оставленный на месте происшествия:

- пятна биологических жидкостей: крови, спермы, слюны, выделений из носа и т. д.;

- отдельные волосы и пучки волос;

- фрагменты тканей человеческого тела (например, кусочки кожи, обломки ногтей);

- костные останки.

Исследование биологических следов и объектов проводятся в рамках судебно-биологической и судебно-медицинской экспертиз. При исследовании таких объектов применяют так называемые биологические методы. Биологические методы не входят в классификацию аналитических методов исследования объектов судебной экспертизы. Однако они широко применяются в экспертных исследованиях и их необходимо рассматривать как самостоятельный класс частных методов судебной экспертизы.

С одной стороны, современную классификацию биологических методов следует рассматривать в соответствии с современной классификацией живых организмов. В соответствии с этим представляется целесообразным разделить биологические методы на следующие основные группы с учетом основных объектов, для исследования которых они используются:

- микробиологические (прокариоты);

- биохимические и биофизические (эукариоты);

- методы молекулярной биологии (волосы, ткани и выделения человека и животных).

С другой стороны, биологические методы основаны на применении живых организмов в качестве аналитических индикаторов. Био-

сенсорные методы – достаточно универсальные методы исследования объектов любой природы с помощью биологической системы.

Имеющиеся в настоящее время методики экспертных исследований не в полной мере используют возможности биологических методов. Например, в экспертных учреждениях нет микробиологических лабораторий, следовательно микробиологические методы практически не применяются.

В судебной экспертизе широкое применение получили органолептические методы, ДНК-анализ и биосенсорный ольфакторный метод.

Органолептические методы основаны на анализе исследуемого объекта с помощью органов чувств человека без применения измерительных или регистрационных технических средств. Восприятие органов чувств человека (вкус, обоняние, зрение, осязание) дают информацию о соответствующих ощущениях и соответственно о свойствах объекта. Органолептические методы в экспертной деятельности применяются при предварительных исследованиях. По запаху можно дифференцировать многие объекты, например объекты нефтяной природы и спиртосодержащие жидкости. Органолептическое определение вкуса объектов судебной экспертизы, как правило, не применяют при исследовании во избежание случайного отравления. Результаты, полученные при исследовании с помощью органолептических методов, субъективны и поэтому используются только для предварительной оценки или обнаружения объектов экспертизы. А метод ДНК-анализа и биосенсорный ольфакторный метод являются методами, позволяющими идентифицировать человека по его биологическим следам.

5.1. Основы и возможности ДНК-анализа

В настоящее время судебной экспертизе биологических следов и объектов при расследовании различных преступлений придается особое значение. Это вызвано развитием метода и технической базы ДНК-анализа, которые позволили идентифицировать личность человека. Метод ДНК-анализа появился в 80-х гг. XX в. В основе данного метода лежит принцип исследования участков ДНК, являющихся индивидуальными для каждого человека. Эти участки входят в состав гена и наследуются от матери и отца, оставаясь, как и отпечатки пальцев, неизменными на протяжении всей жизни человека. ДНК присутствует практически в любой клетке организма; может быть выделена из минимального количества биологического материала, даже из деградированного материала; с помощью современных технологий копируется и накапливается при полном сохранении свойств матрицы; в заморожен-

ном состоянии хранится неограниченное время; данные расшифровки гипервариабельных участков ДНК могут быть легко записаны в виде последовательности букв и цифр. Поэтому метод ДНК-анализа идеально отвечает требованиям, предъявляемым к экспертным методикам:

возможность получать информацию из минимального количества объекта;

специфичность (индивидуальность) генома для каждого конкретного человека;

высокая информативность конечного результата, полученного в ходе исследования;

строгая статистическая обработка полученных данных, снижающая фактор субъективного мнения эксперта, производящего исследование.

В течение короткого времени метод ДНК-анализа был усовершенствован и принят на вооружение экспертными лабораториями правоохранительных органов большинства развитых стран мира. В Республике Беларусь наибольшее количество исследований данного вида проводится по фактам убийств – около 60 %, около 20 % – по фактам изнасилований. Известно, что изнасилования имеют высокий процент рецидива и часто носят серийный характер. Оpozнание насильников нередко затруднено в связи с психологическим состоянием жертв нападения, и единственным доказательством, указывающим на преступника, становятся результаты исследования биологических следов. Здесь большое значение приобретает создание банка ДНК лиц, осужденных за половые преступления.

Во многих государствах созданы национальные банки ДНК. Банк ДНК представляет собой информацию, полученную в результате проведенных исследований, которая хранится неограниченное количество времени. Данная информация может использоваться при объединении уголовных дел, проверке причастности того или иного лица к совершению преступления, а также служить доказательством вины обвиняемого при рассмотрении уголовного дела в суде. Советом Министров Республики Беларусь 29 июля 2002 г. принято постановление № 1010 «О Программе создания автоматизированной идентификационной системы генно-дактилоскопических учетов». Утверждена Инструкция о порядке ведения и использования генно-дактилоскопических учетов. Автоматизированная идентификационная система «генно-дактилоскопических» учетов АИСГДУ – это и есть банк ДНК.

АИСГДУ содержит упорядоченную электронную информацию о генетических признаках:

лиц, подозреваемых (обвиняемых) в совершении преступлений против половой неприкосновенности или половой свободы, а также осужденных и судимых за совершение таких преступлений;

лиц, подозреваемых (обвиняемых) в совершении особо тяжких и тяжких преступлений, а также осужденных и судимых за совершение таких преступлений; задержанных по непосредственно возникшему подозрению в совершении преступлений;

биологических следов, изъятых с мест нераскрытых преступлений; неопознанных трупов.

Право использовать информацию, содержащуюся в АИСГДУ, и направлять материалы для ее пополнения имеют органы, ведущие уголовный процесс, и оперативные подразделения органов, осуществляющих оперативно-розыскную деятельность согласно Закону Республики Беларусь «Об оперативно-розыскной деятельности».

Метод ДНК-анализа также применяется в экспертизах по фактам краж, ДТП, грабежей, разбойных нападений, угонов автомобилей и прочих преступлений. Кражи с проникновением в жилище относятся к наиболее трудно раскрываемым категориям преступлений. Кроме того, сложно доказать вину обвиняемых в совершении данных преступлений. А если остаются биологические следы (кровь, вырванные волосы и т. д.), то преступление будет раскрыто.

Таким образом, в результате исследования биологических следов и объектов, обнаруженных на местах совершения преступлений, методом ДНК-анализа можно установить личность преступника, личность потерпевшего, место совершения преступления, орудие преступления, биологическое родство.

При установлении личности преступника, оставившего биологические следы на месте преступления, потерпевшем, орудии преступления на экспертизу необходимо представить образец для сравнительного исследования, полученный от подозреваемого лица. Если такого лица нет и нет сравнительного образца, то необходимо сравнить генетические признаки исследуемого объекта и хранящихся в базе данных ДНК подучетных лиц. При таком сравнении можно установить причастность лица к другим преступлениям.

Если генетические признаки преступника, лица, пропавшего без вести, отсутствуют в банке ДНК, то их туда помещают, что позволит в будущем идентифицировать субъекта, который оставил данные следы.

Установление биологического родства между индивидами методом ДНК-анализа в настоящее время является наиболее достоверным методом решения вопросов спорного отцовства. Процесс установления биологического родства реализуется непосредственно путем сравнительного исследования генетических признаков матери, ребенка и предполагаемого отца. В случае истинного биологического родства каждый признак генотипа ребенка должен выявляться либо в генотипе матери, либо в генотипе отца, при этом половина признаков ребенка

должна совпадать с признаками биологической матери, а вторая половина – с признаками биологического отца. Доказывание существования биологического родства является эффективным способом идентификации неопознанных трупов и практически единственным методом идентификации фрагментов тела человека. Поскольку погибшие не оставили прижизненного образца крови, можно провести сравнительное исследование генетических признаков обнаруженных останков человека с генетическими признаками его прямых биологических родственников, заявивших о пропаже человека.

5.2. Методы ДНК-анализа

Первые сообщения о возможности использования анализа молекулы ДНК для идентификации человека сделал ученый из Великобритании А. Джеффрис. В опубликованной в июле 1985 г. в журнале Nature статье «Индивидуально-специфичные „отпечатки пальцев“ ДНК человека» он описал метод, основанный на способности бактериальных ферментов, называемых ферментами рестрикции, рестрикционными эндонуклеазами или просто рестриктазами, распознавать строго определенные последовательности ДНК и разрезать ее по областям распознавания. Этот факт был известен давно, однако английский ученый впервые обнаружил, что длина образующихся фрагментов различается для разных людей, отсюда и принятое название данного метода – полиморфизм длины фрагментов рестрикции (Restriction Fragment Length Polymorphism, RFLP). Строение этих отрезков молекул ДНК, которые были названы гипервариабельными участками, не только индивидуально у каждого человека, но и строго повторяется во всех органах и тканях тела одного человека.

Метод исследования гипервариабельных участков молекулы ДНК называют по-разному: геномная идентификация, ДНК-дактилоскопия, генотипоскопия. Термин «генотипоскопия» наиболее точно отражает смысл такого исследования. Теоретически метод генотипоскопической идентификации является самым универсальным, так как с его помощью в принципе можно идентифицировать самые разные объекты биологического происхождения, если только в них сохранилось небольшое количество молекул ДНК или их частей.

Молекула ДНК – это биополимер, состоящий из двух правозакрученных спиралей из полинуклеотидов, имеющих общую ось, – образуется двойная спираль. Каждый нуклеотид состоит из гетероциклического азотистого основания, остатка фосфорной кислоты и моносахарида дезоксирибозы. В зависимости от числа имеющихся в молекуле

остатков фосфорной кислоты различают нуклеозидмонофосфаты (НМФ), нуклеозиддифосфаты (НДФ), нуклеозидтрифосфаты (НТФ).

В состав ДНК входят азотистые основания двух типов: пуриновые – аденин (А), гуанин (Г) – и пиримидиновые – цитозин (С), тимин (Т).

В молекуле нуклеотида дезоксирибозу соединяет N-гликозидная связь (C–N), образованная C₁ – атомом дезоксирибозы и N₁ – атомом пиримидина или N₉ – атомом пурина (рис. 66). Остаток фосфорной кислоты присоединен к 5'-углеродному атому пентозы (5'-фосфоэфирная связь).

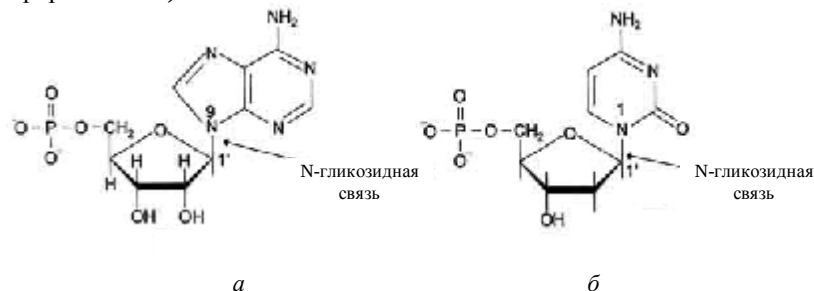


Рис. 66. Структура нуклеотида:

а – аденозинмонофосфат; б – цитидинмонофосфат

В молекуле ДНК нуклеотиды бывают четырех видов в соответствии с азотистыми основаниями (аденин, тимин, гуанин и цитозин) в их составе.

У каждого индивида нуклеотиды расположены в свойственной лишь ему последовательности, что и делает ДНК уникальной. Последовательность нуклеотидов является генетической информацией (рис. 67).



Рис. 67. Схема двойной спирали ДНК

Молекулы ДНК состоят из двух антипараллельных цепей с комплементарной последовательностью нуклеотидов. Цепи закручены относительно друг друга в правозакрученную спираль так, что на один виток приходится примерно 10 пар нуклеотидов.

Большая часть ДНК человека сосредоточена в ядре и называется ядерной. Каждая молекула ядерной ДНК упакована в отдельную хромосому. Хромосомы обеспечивают хранение генетической информации, использование этой информации для создания и поддержания клеточной организации, наследование генетического материала.

Каждый вид организмов обладает постоянным и характерным набором хромосом в клетке (кариотипом), закрепленным в эволюции данного вида; изменения происходят только в результате мутаций. Хромосомный набор человека состоит из 23 пар хромосом: 22 пар аутосом (неполовых хромосом) и 1 пары половых хромосом (X- и Y-хромосомы). В каждой паре хромосом, которые называются гомологичными, одна из хромосом получена от матери, а другая от отца. Наследование половых хромосом мужчин отличается той особенностью, что Y-хромосома им всегда передается от отца, X-хромосома – от матери.

Вся совокупность наследственного материала, заключенного в гаплоидном наборе хромосом, называется геномом. Развитие человека происходит из одной диплоидной клетки-зиготы, которая образуется при слиянии двух гаплоидных клеток (сперматозоид и яйцеклетка). При делении (митозе) зиготы образуются две новые клетки, в каждую из которых передается ДНК, идентичная по своей структуре первичной клетке, и при дальнейшем многократном процессе деления клеток создается единый организм. Таким образом, ДНК всех органов и тканей человека абсолютно идентичны.

Кроме ядерного генома в клетках млекопитающих содержится и ДНК митохондрий (менее 1 % всей клеточной ДНК). Митохондриальным генам свойственен внехромосомный (цитоплазматический) тип наследования, поэтому митохондриальный геном передается в поколении только по материнской линии. В отличие от ядерной ДНК, содержащейся в клетке лишь в двух копиях, молекулы митохондриальной ДНК представлены в клетке в сотнях и тысячах копий. Благодаря этому анализ митохондриальной ДНК позволяет исследовать образцы с минимальным количеством ДНК (например, кости, зубы) и с выраженными изменениями (например, большими сроками давности – до 7 тыс. лет). Однако исследование митохондриальной ДНК по сравнению с ядерной ДНК менее информативно, более трудоемко и имеет высокую стоимость, поэтому не находит широкого применения в экспертной практике.

Молекула ДНК может быть условно разделена на множество областей. Некоторые эти области имеют строение, одинаковое у всех людей, другие же обладают полиморфизмом (многообразием), существуя в популяции в различных вариантах. Некоторые полиморфные участки ДНК кодируют (определяют) строение определенных веществ, например антигенов. Некодирующие участки ДНК представляют наибольший интерес с точки зрения идентификации личности.

Полиморфные участки ДНК исследуются в рамках молекулярно-генетической экспертизы. Особенности полиморфных генетических признаков заключаются в том, что по отдельности они не являются уникальными для конкретного индивида, поскольку обычно присущи группе людей. Однако в совокупности они позволяют индивидуализировать объект исследования и решить основную задачу экспертизы – отождествления конкретного человека.

Наибольшее распространение в экспертной практике в настоящее время имеет **метод полимеразной цепной реакции (ПЦР)**, или метод амплификации (реакции цепной полимеризации).

Метод ПЦР представляет собой циклический процесс амплификации (копирования) нужного участка последовательности ДНК, осуществляемый с помощью фермента ДНК-полимеразы.

Исследование ДНК состоит из следующих основных этапов:

- выделение и очистка ДНК из биоматериала;
- проведение полимеразной цепной реакции;
- анализ полученных последовательностей ДНК.

Выделение ДНК проводят классическим фенольным методом или, если объект не содержит больших количеств белка и не подвергался длительному хранению, с использованием ионообменной смолы Chelex 100.

Цикл амплификации включает три фазы: денатурации, отжига и достраивания ДНК.

Денатурацией, или плавлением, ДНК называется разрыв водородных связей между полинуклеотидными цепями ДНК при нагревании в сильнощелочных растворах. Поскольку две цепи ДНК комплементарны, каждая из них при разделении двойной спирали служит матрицей для синтеза новой комплементарной ДНК. Этот процесс образования новых молекул ДНК называется репликацией и лежит в основе передачи наследственной информации.

Процесс восстановления двойной спирали из двух разделенных комплементарных цепей называют ренатурацией ДНК или отжигом. Если соединяются одноцепочечные ДНК из различных источников, то формирование двухцепочечной структуры ДНК называют гибридизацией.

В первой фазе полимеразной цепной реакции происходит денатурация ДНК с образованием одноцепочечных молекул.

Во второй фазе происходит отжиг праймеров (особых реагентов, которые «находят» на изучаемой молекуле нужные участки, соединяются с ними и инициируют синтез соответствующей последовательности ДНК).

В третьей фазе происходит синтез цепей ДНК при участии ДНК-полимеразы. К концу цикла количество цепей ДНК удваивается. В следующих циклах матрицей служат не только исходные цепи ДНК, но и синтезированные в предыдущих циклах. Теоретически после 30-го цикла амплификации можно получить 10^9 копий первоначальной последовательности.

Анализ продуктов полимеразной реакции осуществляют с помощью электрофореза в агарозном или полиакриламидном геле, образующем сетчатые структуры с ячейками разной величины, соизмеримой с размерами фрагментов ДНК. Под действием электрического поля фрагменты ДНК разной длины, заряженные отрицательно, перемещаются в геле к аноду с разной скоростью, зависящей от их размеров. Таким образом, происходит разделение фрагментов ДНК разной длины.

Электрофорез в агарозном геле обладает невысокой разрешающей способностью и используется для разделения последовательностей, различающихся между собой десятками и более пар оснований.

Электрофорез в полиакриламидном геле обладает очень высокой разрешающей способностью и позволяет определять последовательности ДНК, различающиеся одной парой оснований.

В настоящее время наиболее перспективным является использование метода капиллярного электрофореза, позволяющего проводить эффективное разделение, качественный и количественный анализ микроколичеств объектов.

Один из методов ДНК-анализа – **анализ полиморфизма длин рестрикционных фрагментов ДНК** (фрагментов, получаемых путем расщепления молекулы). Сокращенно его называют ПДРФ-анализ (используют для исследования жидкой крови).

Технология такого исследования состоит из следующих этапов.

1. Выделяют молекулы ДНК из исследуемого материала (молекулы ДНК находятся в ядрах клеток в структуре ДНК).

2. Разделяют на фрагменты молекулы ДНК с помощью ферментов – рестриктаз (эндонуклеаз). Существует множество видов рестриктаз, которые разрезают молекулу ДНК в местах, присущих только им, т. е. каждый вид рестриктазы только в том месте, в котором ему положено его химической природой. После такого воздействия на молекулу ДНК образуется множество фрагментов, которые отличаются друг от друга составом, длиной и соответственно молекулярным весом.

3. Смеси фрагментов ДНК разделяют методом электрофореза в геле. Метод основывается на том, что под воздействием электрического тока фрагменты ДНК передвигаются в специальной среде – геле. Чем они легче и мельче, тем дальше они уходят от стартовой позиции.

4. Из всего набора фрагментов, расположенных на разных участках электрофоретической пластинки, с помощью специальных зондов выявляют полиморфные фрагменты. Зонды обычно маркируют радиоактивными изотопами или нерадиоактивными метками, что позволяет получить на специальной мембране видимый набор линий разной ширины, соответствующих числу и виду гипервариабельных фрагментов. Расположение отдельных линий варьирует у разных людей, а их совокупность индивидуальна. Целесообразно производить параллельное исследование известного по происхождению объекта (от А) и неизвестного (от Х). Полученные «картинки» распределения гипервариабельных фрагментов сравнивают между собой с использованием методов математического анализа. Рассчитывают возможность случайного совпадения изображений. При очень маленькой вероятности случайного совпадения его пренебрегают и считают, что сравниваемые объекты идентичны, а следовательно установлена личность человека, от которого произошел ранее неизвестный объект Х.

Метод позволяет сравнивать между собой результаты исследования неизменных молекул ДНК из ядер клеток крови, спермы и любых других тканей тела человека. «Картинка» расположения гипервариабельных фрагментов не изменяется на протяжении всей жизни человека, она индивидуальна. Полное сходство «ДНК-узоров» наблюдается только у однояйцевых близнецов. У родственников выявляется сходство генотипических узоров, что позволяет устанавливать родство.

Преимущества методов ДНК-анализа:

можно исследовать микроколичества биологического материала. Теоретически минимальная величина объекта, пригодного для исследования, составляет лишь одну клетку, однако практически объект должен состоять из десятков или сотен неразрушенных клеток. Такая величина соответствует столь незначительным размерам, что нередко пригодные для исследования объекты остаются не обнаруженными на месте происшествия. Например, 1 мкл цельной крови ($1/30$ минимальной по размерам капли) содержит около 50 нг ядерной ДНК, что в 50 раз превышает количество, необходимое для проведения исследования;

объектом исследования могут быть любые ткани и биологические жидкости, содержащие ДНК, структура которой индивидуальна и неизменна на протяжении всей жизни человека;

допускается загрязнение объектов микрофлорой;

возможно исследование смешанных следов.

5.3. Ольфакторный метод исследования пахучих веществ в судебной экспертизе

Ольфакторный метод исследования пахучих веществ – это биологический биосенсорный метод исследования пахучих веществ с помощью обонятельных рецепторов живых организмов. Теоретически можно использовать любых животных с развитым обонянием.

Источником пахучих веществ может быть живой организм (например, запах человека, млекопитающего) и объекты естественного и искусственного происхождения (например, запах цветов и запах пластмассы). Известно, что не все вещества пахнут и лишь 20 % из известных органических соединений обладают запахом, ощущаемым человеком. Для животных также существуют вещества, не возбуждающие их обонятельную систему. Вещества, вызывающие ощущение запаха, называются пахучими или одорантами.

Под запахом понимают одно из свойств материального объекта, воспринимаемое обоняем человека или животного. Без живого организма не существует запаха. Известно, что за формирование обонятельных рецепторов отвечает как минимум 400 разных генов, большинство из которых отвечают и за другие функции. Например, собаки имеют более 1 тыс. разных обонятельных рецепторов. Именно наличие множества рецепторов позволяет ощущать гаммы запахов. Фактически даже самый базовый запах включает несколько рецепторов, и по тому, как происходит это включение, работает наш мозг. Для ощущения запаха необходимо, чтобы вещество попало на обонятельную поверхность в концентрации больше пороговой. И это вещество должно быть летучим соединением. Этим требованиям отвечают соединения с молекулярной массой не выше 300 а. е. Обоняние собаки способно обнаружить концентрацию вещества около 9 тыс. молекул в 1 см^3 , обоняние человека – только 700 млн молекул на такой же объем. Иными словами, пороговая концентрация для этого запаха у человека в 800 тыс. раз ниже. Собака, натренированная на конкретный запах, может распознать его при наличии всего 700 молекул в см^3 .

Запах до конца не изучен, и он сложен для анализа. Формирование запаха является результатом сложных химических внутриклеточных процессов, обусловленных генетически для конкретного организма.

Источниками индивидуализирующего запаха человека являются его пот и кровь. Продукты внутриклеточного обмена веществ попадают сначала в кровь и выводятся с потом. Пот продуцируется эккринными и апокринными потовыми железами, число которых на теле человека достигает 2 млн. В течение суток человек выделяет в среднем около

800 мл пота. Количество пота зависит от обмена веществ, физического и психического состояния человека, условий внешней среды и т. д.

Продукты внутриклеточного обмена веществ стабильные и специфичные для каждого человека. Из-за генетически предопределенных нюансов возможность встретить двух людей, у которых вырабатывается одна и та же совокупность белков или одних и тех же летучих компонентов крови, определяется чрезвычайно малой величиной (порядка 10^{-24}). Именно этому обстоятельству обязан неповторяющийся состав метаболитов, выводимых с потом из организма. Специфический запах человека прослеживается на протяжении нескольких или десятков лет его жизни. В других выделениях и секретах человеческого организма пахучих веществ, на которые ориентируются собаки при узнавании конкретного индивида, не выявлено.

Большую роль в формировании запаха человека кроме собственного запаха играют и дополнительные запахи. Это запахи окружающей среды, пищи, лекарственных средств, косметики и т. д. В создании запаха человека также имеет значение его одежда, которая является хорошим адсорбентом не только индивидуального запаха, но и запахов мест пребывания, производственной деятельности человека.

Пахучие вещества, образующие запах человека, в процессе его жизнедеятельности постоянно переносятся на окружающие предметы либо механически, либо под действием испарения, адсорбции и других физико-химических процессов. Молекулы данных веществ удерживаются некоторое время на предметах, с которыми контактировал субъект, и распространяются в потоке воздуха в окружающей среде. Для криминалистической практики очень важно, что эти следы запаха сохраняют сведения о субъекте как источнике запаховой информации и после его ухода.

Таким образом, запаховые следы – это микроколичества пахучих соединений (молекул), характеризующих индивидуальные и групповые особенности организма субъекта и оставленных им на месте преступления.

Запаховые следы невидимы, их нельзя взвесить, и для их обнаружения необходимо, чтобы концентрация пахучих соединений в следе превышала пороговую чувствительность биодетектора. Однако следует учитывать, что в воздухе запах практически не сохраняется и, как показала экспертная практика, исследования запаховых проб из воздуха неэффективны и в настоящее время не используются.

Запаховые следы характеризуются следующими свойствами:

непрерывность механизма следообразования запаха – запаховый след образуется непрерывно до тех пор, пока существует источник;

летучесть (подвижность) – определяет незначительную сохранность следа на предмете, что обуславливает необходимость быстрого сбора с него запаховой пробы; способствует тому, что запаховые следы вместе с потоком воздуха достигают обонятельных рецепторов биодетектора;

делимость – возможность деления исходного (матричного) следа на несколько дочерних, полностью передающих качественные признаки следообразующего объекта;

возможность диффузии – способность проникновения в материал следоносителя;

сорбция – способность удерживаться на материалах предметов;

рассеиваемость – способность пахучих соединений (молекул) занять весь объем пространства, в котором они находятся, что определяет незначительную сохранность запаховых следов и объясняет необходимость скорейшего сбора с них запаховых проб.

Пробы пахучих веществ с запаховых следов материальны, они могут быть собраны, препарированы, разделены, сохранены и подвергнуты исследованию.

В криминалистике детекторы запаховой информации принято делить на биологические и технические. Биодетекторами у живых существ являются органы обоняния, устройство которых сложно и определяется уровнем развития организма. Пахучие вещества, обладающие летучестью, попадая на рецепторы обонятельной поверхности биодетектора, вызывают раздражение и возбуждение. Происходит это потому, что связь запаховых раздражителей животного происхождения с определенной реакцией закреплена в центральной нервной системе животного в процессе эволюции в виде соответствующих безусловно-рефлекторных структур. Особенно сильное действие оказывает запах человека на собаку, что наследственно закреплено в ее нервной системе. Поэтому в одорологической экспертизе при исследовании пахучих веществ человека (следы и образцы запаха) используют обонятельные рецепторы собак.

Технические детекторы запаховых веществ – приборы, исследующие газообразные вещества. В основу их работы положены физико-химические или физические методы. Современные хромато-масс-спектрометры и хроматографы позволяют избирательно распознавать компоненты газовых смесей, например пары спирта в выдыхаемом человеком воздухе; молекулы взрывчатых веществ или наркотических средств; продукты разложения тканей трупов людей и животных. Данные приборы имеют высокую чувствительность, но обладают малой избирательностью, т. е. реагируют на одно или несколько веществ.

Кроме того, количество пахучих веществ в следе на объекте на два-три порядка ниже предельной концентрации для прибора. Пока не создан прибор, который мог бы заменить обонятельный аппарат животных.

К техническим средствам для сбора и хранения изымаемых пахучих следов и образцов запаха человека относятся следующие приспособления и материалы:

лоскуты новой или выстиранной (свободной от запаховых следов человека) хлопчатобумажной байки размером примерно 10×15 см, упакованные в банки или три-четыре слоя бытовой алюминиевой фольги. Допускается использование фланели и стерильных марлевых или ватно-марлевых салфеток;

стеклянные банки с металлическими или стеклянными крышками; фольга алюминиевая (обычно в рулоне), не бывшая в употреблении; пульверизатор с водой (допускается водопроводная);

пинцеты (большие);

резиновые перчатки (новые или чисто вымытые).

Байку разрезают, затем, используя пинцеты и резиновые перчатки, заворачивают в фольгу или помещают в стеклянные банки.

Пакеты из полимерной пленки, пластмассовые крышки и бумага не обеспечивают герметичности упаковки запаховых проб и объектов с запаховыми следами и поэтому непригодны. Допускается закрывать банку пластмассовой крышкой на короткий срок (до пяти дней), если между крышкой и банкой поместить фольговую прокладку. Работу по подготовке технических средств, сбор и упаковку осуществляют с использованием резиновых перчаток и пинцетов, предупреждая возможность загрязнения собираемых проб посторонними пахучими веществами (включая и запаховые следы участников следственного действия). В плотно закрытых стеклянных банках запаховые пробы могут сохраняться в течение нескольких лет, оставаясь пригодными для сравнительного исследования, а в упаковке из фольги – до полугода.

При изъятии запаховых следов с предметов применяется метод аппликации (наложения), который заключается в плотном и длительном контакте хлопчатобумажной байки с пахучими следами на предмете (рис. 68). Для получения запаховой пробы сухой предмет-следоносите́ль (в местах предполагаемого нахождения запаховых следов человека) слегка увлажняют с помощью пульверизатора (распыляют воду один-два раза вверх над предметом), затем предмет обертывают или накрывают лоскутом (лоскутами) чистой хлопчатобумажной байки, а поверх нее – алюминиевой фольгой в два слоя. Фольгу тщательно обжимают, обеспечивая плотный контакт ткани с предметом. Минимальное время контакта с предметом-следоносите́лем – один час.

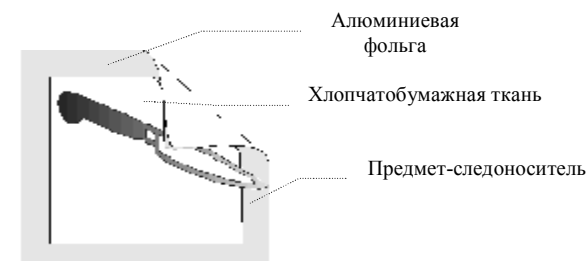


Рис. 68. Получение запаховой пробы методом аппликации

Если на месте изъятия ощущается какой-либо производственный или бытовой запах, то для контроля в исследовании необходимо собрать на лоскут чистой байки и представить образец вызывающих его веществ. Для этого лоскуты чистой байки, не накрывая, на один час помещают на какой-либо предмет, где заведомо отсутствуют запаховые следы участников происшествия, но присутствует данный фоновый запах. Затем эти лоскуты упаковывают по общим правилам для запаховых объектов.

Малогабаритные предметы-следоносите́ли или части крупных предметов могут быть изъяты целиком для извлечения в лабораторных условиях содержащихся на них запаховых веществ. В этом случае изымаемые предметы-следоносите́ли раздельно помещают в фольгу или стеклянные емкости и сразу же направляют для препарирования запаховых следов. Со следов крови запаховые вещества, характеризующие субъекта, также извлекают непосредственно в криминалистической лаборатории; на месте происшествия следы крови или предметы со следами изымают по общим правилам, установленным для объектов судебно-биологической, судебно-медицинской экспертизы.

В лабораторных условиях для извлечения запаховых следов с предметов-следоносите́лей применяются и другие методы:

перенесение пахучих веществ с тканого предмета на хлопчатобумажную ткань горячим паром;

испарение пахучих следов на водяной бане в условиях вакуума;

экстракция – смывание пахучих веществ органическими растворителями.

В качестве образцов запаха субъекта представляют кровь, которую отбирают в медицинском учреждении от каждого проверяемого лица. Для этого несколько капель отобранной от субъекта крови высушивают на марлевом тампоне при комнатной температуре и упаковывают в бумажный пакет.

При отсутствии возможности получить образцы крови в качестве источников индивидуального запаха могут быть представлены образцы

пота или снятое с субъекта нижнее белье. Получение образцов пота должны осуществлять работники, не участвовавшие в сборе запаховых проб в ходе следственных действий по данному делу. Для получения образцов для сравнительного исследования лицо, от которого они отбираются, самостоятельно извлекает из банки (фольги) два чистых лоскута ткани и помещает их раздельно в расправленном виде на тело: за пояс брюк, ворот или под манжеты рукавов. Лоскуты ткани могут быть размещены на теле подозреваемого и кем-либо из участников следственного действия с использованием пинцета и резиновых перчаток. Лоскуты следует снимать с тела не ранее чем через 30 минут.

Все действия по изъятию и упаковке запаховых проб, предметов – следоносителей запаха и образцов запаха отражаются в протоколе осмотра места происшествия по общим правилам с указанием технических средств и метода сбора запаховых следов, времени их изъятия, наличия сопутствующих запахов и других существенных обстоятельств.

Основной задачей одорологической экспертизы является идентификация субъекта по запаховым пробам с оставленных им запаховых следов пота или извлеченным из пятен его крови. Экспертиза проводится в лабораторных условиях сопоставлением запаховых проб с изъятых в ходе следственных действий запахоносителей и представленных для сравнения запаховых образцов, полученных от проверяемых по расследуемому делу лиц. Средствами лабораторной идентификации запахов являются собаки-детекторы, подготовленные для использования в выборке консервированных запахов, и запаховые объекты, внешне однообразные, составляющие выборочный ряд. Собаки-детекторы выступают как биоприборы-индикаторы и служат инструментом в руках экспертов. Эксперт по реакциям биодетекторов выявляет в исследуемых запаховых пробах тот или иной признак (индивидуализирующий субъекта запах, запах биологического вида и так далее).

В одорологической экспертизе собак-детекторов применяют в двух вырабатываемых у них стереотипах рабочего поведения. В первом случае каждой собаке-детектору перед применением предъявляется объект с подлежащим поиску запахом. Собака нюхает, запоминает образец, а затем ищет заданный запах, обнюхивая множество составляющих сравнительный ряд объектов. Этот рабочий стереотип применяется при установлении наличия или отсутствия в собранной пахучей пробе личных (индивидуальных) пахучих следов проверяемого субъекта. Во втором рабочем стереотипе информация о подлежащем узнаванию запахе (например, запахе человека как биологического вида) заблаговременно закладывается в долговременную память собак-детекторов уз-

конаправленной дрессировкой. Выявление групповых ольфакторных характеристик в следах человека (вид, пол, примерный возраст и т. д.) осуществляется с применением именно этого рабочего стереотипа.

Кроме идентификации ольфакторным методом по составу вещества потожировых или кровяных следов человека определяют его пол и возраст.

Использование собаки-детектора – единственно возможный способ анализа пахучих веществ до тех пор, пока не будет установлен их качественный и количественный состав, определяющий индивидуальность каждого человека. Собаки, идущие по следу человека, могут ориентироваться на любое вещество, оставленное в его следах: на парфюмерию, лекарства, производственные и бытовые запахи. Отличие собак-детекторов от других служебных собак, идущих по следу человека, – это их обученность на выявление именно генетически обусловленной составляющей следов пота и крови человека.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Аверьянова, Т.В. Судебная экспертиза. Курс общей теории / Т.В. Аверьянова. М. : Норма, 2008. 480 с.
- Вещественные доказательства: информационные технологии процессуального доказывания / под общ. ред. В.Я. Колдина. М. : Норма, 2002. 742 с.
- Использование естественнонаучных знаний при расследовании насильственных преступлений : метод. пособие для следователей, судей, адвокатов и экспертов / И.П. Ахрамович [и др.] ; под ред. Л.А. Шукан, А.З. Малинниковой. Минск : Харвест, 2003. 208 с.
- Козлов, М.Г. Метрология и стандартизация : учебник / М.Г. Козлов. М. ; СПб. : Петерб. ин-т печати, 2001. 372 с.
- Крешков, А.П. Основы аналитической химии. Теоретические основы : в 2 кн. / А.П. Крешков. 4-е изд., перераб. М. : Химия, 1976. 2 кн.
- Криминалистика : учеб. для вузов / Т.В. Аверьянова [и др.] ; под ред. Р.С. Белкина. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Норма-Инфра, 2006. 992 с.
- Математические методы в криминалистической экспертизе : курс лекций. Волгоград : ВА МВД России, 2004. 104 с.
- Методы и средства экспертных исследований : учеб. пособие / Н.А. Анчабадзе [и др.]. Волгоград : Изд-во Волгогр. акад. МВД России, 2001. 88 с.
- Моисеева, Т.Ф. Методы и средства экспертных исследований : учебник / Т.Ф. Моисеева. М. : Моск. психол.-социал. ин-т, 2006. 212 с.
- Основы естественнонаучных знаний для юристов : учеб. для вузов / Е.Р. Россинская [и др.] ; под ред. Е.Р. Россинской. М. : Норма-Инфра-М, 1999. 589 с.
- Порубов, Н.И. Криминалистика : учеб. пособие / Н.И. Порубов, Г.И. Грамович, А.Н. Порубов ; под ред. Н.И. Порубова. Минск : Выш. шк., 2007. 575 с.
- Россинская, Е.Р. Судебная экспертиза в гражданском, арбитражном, административном и уголовном процессе / Е.Р. Россинская. М. : Норма, 2006. 656 с.
- Савельев, И.В. Курс общей физики : в 3 т. / И.В. Савельев. М. : Наука, 1970. 3 т.
- Сергеев, А.Г. Метрология : учебник / А.Г. Сергеев. М. : Логос, 2005. 272 с.
- Старовойтов, В.И. Запаховые следы участников происшествия: обнаружение, сбор, организация исследования : метод. рекомендации / В.И. Старовойтов, К.Т. Сулимов, В.В. Гриценко. М. : ЭКЦ МВД России, 1993. 24 с.
- Старовойтов, В.И. Запаховые следы человека : учеб. пособие / В.И. Старовойтов, Т.Н. Шамонова. М. : МЦПОиКНИ при ГУК МВД РФ, 1998. 40 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Методы и средства, применяемые при собирании и исследовании вещественных доказательств	5
1.1. Понятия метода и средств судебной экспертизы и критерии их использования в экспертной практике	5
1.2. Классификация методов судебной экспертизы	10
1.3. Специальные методы предварительного и экспертного исследований вещественных доказательств	17
1.4. Понятие методики судебной экспертизы. Виды экспертных методик	22
1.5. Правовые основания применения методов и средств судебной экспертизы	25
1.6. Классификация технико-криминалистических средств	26
1.7. Техничко-криминалистические средства и методы, применяемые при собирании вещественных доказательств	29
Глава 2. Криминалистическая метрология, средства измерений и математическая обработка результатов исследований	38
2.1. Основы метрологии: понятийный аппарат. Значение метрологии в судебно-экспертной деятельности	38
2.2. Физические величины и их измерение. Единицы физических величин	47
2.3. Погрешности измерений и их классификация	55
2.4. Математическая обработка и оценка результатов измерений при проведении экспертных исследований	63
2.5. Виды и методы измерений. Средства измерений и их характеристики	71
2.6. Измерения линейных, угловых величин, массы и других параметров	83
Глава 3. Основы оптики. Использование оптических методов и средств при проведении экспертных исследований	96
3.1. Основные законы оптики	96
3.2. Оптические детали, используемые в приборах и устройствах	110
3.3. Использование невидимой зоны электромагнитного спектра в экспертных исследованиях	120
3.4. Микроскопы и использование их в судебной экспертизе	125
Глава 4. Методы аналитической химии в экспертных исследованиях	144
4.1. Понятия качественного и количественного анализа	144

4.2. Химические методы исследования объектов экспертизы	146
4.3. Инструментальные методы исследования объектов экспертизы	150
4.4. Методы разделения и концентрирования	163
Глава 5. Биологические методы экспертных исследований	166
5.1. Основы и возможности ДНК-анализа.....	167
5.2. Методы ДНК-анализа	170
5.3. Ольфакторный метод исследования пахучих веществ в су- дебной экспертизе	176
Рекомендуемая литература	183

Учебное издание

МЕЛЬНИКОВА Галина Андреевна

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЭКСПЕРТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Учебное пособие

Редактор *Л.М. Романовская*
Технический редактор *А.В. Мозалевская*
Корректор *А.С. Мигно*

Подписано в печать 14.06.2016. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Ризография. Усл. печ. л. 10,8. Уч.-изд. л. 10,1.
Тираж 100 экз. Заказ 257.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Академия Министерства внутренних дел Республики Беларусь».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/102 от 02.12.2013.
Пр-т Машерова, 6, 220005, Минск.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК
