

Глава 4. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1. Методы и особенности теоретических исследований

Аналитические методы исследований используют для исследования физических моделей, описывающих функциональные связи внутри или вне объекта. С их помощью устанавливают математическую зависимость между параметрами модели. Эти методы позволяют провести глубокое исследование объекта и установить количественные точные связи между аргументами и функциями [2].

Аналитические методы исследований с использованием экспериментов. Любые физические процессы можно исследовать аналитически или экспериментально. Аналитические зависимости являются математической моделью физических процессов. Такая модель может быть представлена в виде уравнения или системы уравнений, функции и т.д.

Но математическим моделям присущи серьезные недостатки:

1. Для проведения достоверного опыта требуется установление краевых условий. Ошибка в их определении приводит к видоизменению исследуемого процесса.
2. Часто отыскать аналитические выражения, отражающие исследуемый процесс затруднительно или вообще невозможно.
3. При упрощении математической модели (допущения) искажается физическая сущность процесса.

Экспериментальные методы исследований позволяют более глубоко и детально изучить исследуемый процесс. Однако результаты эксперимента не могут быть перенесены на другой процесс, близкий по физической сущности. Это связано с тем, что результаты любого эксперимента отражают индивидуальные особенности лишь исследуемого процесса. Из опыта еще нельзя определить, какие факторы оказывают решающее влияние на процесс, если изменять различные параметры одновременно. Это означает, что при экспериментальном исследовании каждый конкретный процесс должен быть исследован самостоятельно. Экспериментальные методы позволяют установить частные зависимости между переменными в строго определенных интервалах их изменения.

Таким образом, аналитические и экспериментальные методы имеют свои достоинства и недостатки, и это затрудняет решение практических задач. Поэтому сочетание положительных сторон обоих методов является перспективным и интересным [2].

Вероятностно-статистические методы исследований. При использовании этих методов применяют математический аппарат. Вероятностный процесс – это процесс изменения во времени характеристик или состояния некоторой системы под влияние случайных факторов [3].

Методы системного анализа. Системный анализ – это совокупность методов и приемов для изучения сложных объектов – систем, которые представляют собой сложную совокупность взаимодействующих между собой элементов. Суть системного анализа заключается в выявлении связей между элементами системы и установлении их влияния на поведение системы в целом [35].

Системный анализ обычно складывается из четырех этапов:

1. Постановка задачи. Определяют цели, задачи исследования и критерии для изучения процесса. Это очень важный этап. Неправильная или неполная постановка целей может свести на нет всю последующую работу.

2. Очерчивание границы системы и определение ее структуры. Все объекты и процессы, имеющие отношение к поставленной цели, разбивают на два класса: собственно систему и внешнюю среду. Различают замкнутые и разомкнутые. Влиянием внешней среды в замкнутой системе можно пренебречь. Затем выделяют структурные части системы и устанавливают взаимодействие между ними и внешней средой.

3. Составление математической модели системы. Сначала определяют параметры элементов и затем используют тот или иной математический аппарат (линейное программирование, теория множеств и др.).

4. Теоретические исследования [2]. При проведении любого теоретического исследования преследуются несколько целей:

- обобщение результатов всех предшествующих исследований и нахождение общих закономерностей путем обработки и интерпретации этих результатов и опытных данных;

- изучение объекта, недоступного непосредственному исследованию;

- распространение результатов предшествующих исследований на ряд подобных объектов без повторения всего объема исследований;

- повышение надежности объекта экспериментального исследования.

Теоретические исследования начинаются с разработки рабочей гипотезы и моделирования объекта исследования и завершаются формированием теории. Теория проходит в своем развитии путь от количественного измерения параметров объекта и качественного объяснения происходящих процессов до их формализации в виде методик, правил или математических уравнений.

В основе создания любой модели лежат допущения, принимающиеся с целью отсева незначительных факторов, которыми можно пренебречь без существенного искажения условий задачи. При этом исследователь должен четко представлять соответствие принятой модели реальному объекту, поскольку необоснованное принятие допущений может привести к грубейшим ошибкам при проведении исследований. Но учет большого числа факторов, действующих на объект, может привести к сложным аналитическим зависимостям, которые не поддаются анализу [3].

Теоретические исследования включают в себя несколько характерных этапов:

- анализ физической сущности процессов и явлений;
- формулирование гипотезы исследования;
- построение физической модели;
- математическое исследование;
- анализ и обобщение теоретических исследований;
- формулирование выводов.

Процесс теоретических исследований сопровождается непрерывными постановкой и решением разнообразных задач, связанных с выявлением противоречий в принятых теоретических моделях.

Любая задача содержит *исходные условия*, определенные информационной системой, и *требования*, то есть цель, к которой нужно стремиться при ее решении. Исходные условия и требования задачи постоянно находятся в противоречии, и в процессе ее решения их приходится неоднократно сопоставлять и уточнять до тех пор, пока не будет получено решение задачи.

При проведении теоретических исследований в технических науках, как правило, стремятся к математической формализации выдвинутых гипотез и полученных выводов, используя при этом различные математические методы. Процесс математической формализации задачи включает несколько стадий:

- математическая формулировка задачи;
- математическое моделирование;
- метод решения;
- анализ полученного результата.

Математическая модель представляет собой систему математических соотношений (функций, уравнений, формул, систем уравнений), описывающих те или иные стороны изучаемого объекта.

Первый этап математического моделирования включает в себя постановку задачи, определение объекта и целей исследования, задание критериев изучения объекта и управления им, установление границ его

области влияния, то есть области значимого взаимодействия с внешними объектами. Внутри этой области объект может рассматриваться как замкнутая система с установленными начальными и граничными условиями решения задачи.

Выбор типа модели осуществляется на следующем этапе математического моделирования. Иногда строят несколько моделей одного и того же объекта и выбирают наиболее правильную сравнивая результаты исследования с реальным объектом.

При выборе типа математической модели объекта по экспериментальным данным устанавливают степень его *детерминированности*, то есть статичность или динамичность, стационарность или нестационарность, линейность или нелинейность [3].

4.2. Структура и модели теоретического исследования

Теоретическое знание – это сформулированные общие для какой-либо предметной научной области закономерности, позволяющие объяснить ранее открытые факты и эмпирические закономерности, а также предсказать и предвидеть будущие события и факты.

Теоретическое знание трансформирует результаты, полученные на стадии эмпирического познания, в более глубокие обобщения, вскрывая сущности явлений, закономерности возникновения, развития и изменения изучаемого объекта.

Существуют различия между эмпирическим и теоретическим знанием. Например, газовые законы Бойля–Мариотта, Шарля и Гей-Люссака – это эмпирические законы, а обобщение этих газовых законов на основе молекулярно-кинетической теории, модели идеального газа, уравнение Клайперона–Менделеева – это теоретическое знание.

Теоретическое исследование начинается с поиска. Выясняется, какая концепция, теория или предметная область могут объединить и собрать воедино все наработанные эмпирические результаты или их большую часть. Нередко бывает, что часть результатов не ложится в единое русло и их приходится отбрасывать. Но подчас оказывается, что чего-то из необходимых эмпирических результатов недостает и эмпирическую часть исследования следует продолжить.

Когда предметная область определена исследователем, начинается процесс построения логической структуры теории, концепции и т.п.

Процесс построения логической структуры состоит из двух этапов. Первый этап – *этап индукции* – восхождение от конкретного к абст-

рактному. Исследователь должен определить центральное системообразующее звено своей теории: концепцию, систему аксиом или аксиоматических требований, или единый методологический подход и т.д.

Причем исследователю в процессе обобщения эмпирических результатов приходится, с одной стороны, постоянно обращаться к своей предметной области в аспекте требований полноты теории (образовавшиеся «пустоты» в предметной области). В дальнейшем их надо заполнять, в том числе путем дополнительной опытно-экспериментальной работы либо заимствования результатов у других авторов (естественно, со ссылками).

С другой стороны, постоянно соотносить получаемые обобщения и предметную область с совокупностью получаемых теоретических результатов в аспекте требования полноты, а также непротиворечивости строящейся концепции, теории.

Исследователь на этапе индукции детально инвентаризирует все имеющиеся у него результаты, все, что может представлять интерес. И начинает группировать их по определенным основаниям классификаций в первичные обобщения, затем в обобщения второго порядка и так далее. Происходит индуктивный процесс – абстрагирование – восхождение от конкретного к абстрактному – пока все результаты не сведутся в авторскую концепцию – короткую (5–7 строк), но ёмкую формулировку, отражающую в самом общем сжатом виде всю суть теоретической работы и совокупность результатов.

Следующий этап *время дедуктивного процесса*, то есть конкретизации – восхождения от абстрактного к конкретному.

На этом этапе формулировка концепции развивается в совокупности факторов, условий, принципов, моделей, механизмов, теорем и т.д. Иногда, если проблема исследования расчленяется на несколько относительно независимых аспектов, концепция развивается в несколько концептуальных положений – а те уже далее развиваются в совокупности принципов и т.п. Принципы также могут развиваться в классы моделей, типы задач и т.д. Так выстраивается логическая структура научной теоретической работы. Процесс логической структуры представлен на схеме 4.1 [1].

Только правильно и обоснованно выбранная методика гарантирует надежность полученных при выполнении исследований результатов. Поэтому важным этапом НИР является разработка методики исследования. Методика должна предусматривать теоретические и экспериментальные исследования.

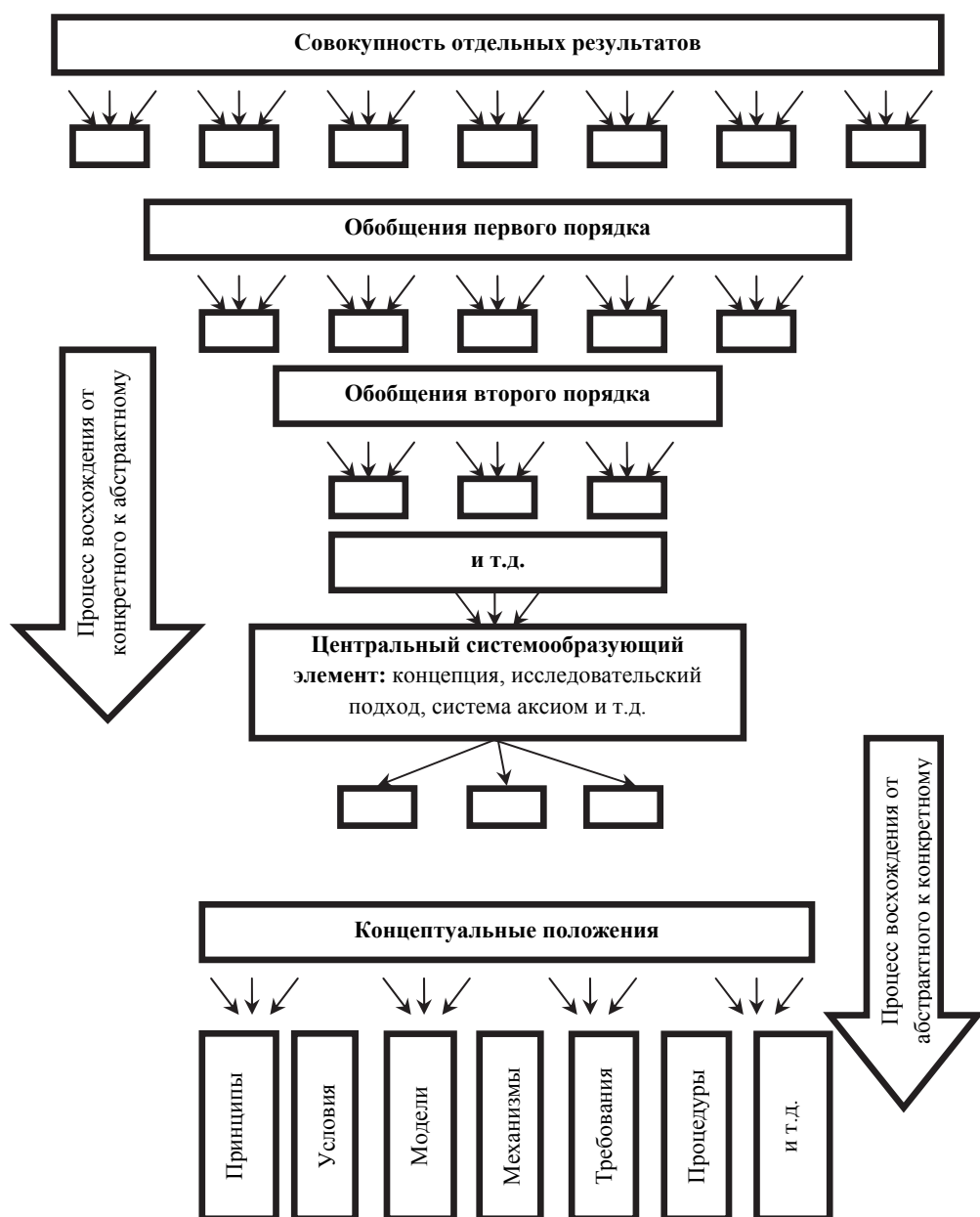


Рис. 4.1. Построение логической структуры теоретического исследования

Обычно теоретические исследования выполняют методом моделирования, т.е. изучения явления с помощью модели. *Модель* – искусственная система, отображающая основные свойства изучаемого объекта, то есть оригинала.

При математическом моделировании физика явлений может быть различной, но математические зависимости одинаковы. При физиче-

ском моделировании физика явлений в объекте и модели и их математические зависимости одинаковы.

При изучении сложных процессов часто применяют математическое моделирование. При построении модели изучаемый объект и его свойства обычно упрощают. Однако надо иметь в виду, что чем ближе модель к оригиналу, тем ближе полученные при теоретическом исследовании результаты к действительным.

Модели могут быть физическими, математическими и натуральными.

Физические модели позволяют наглядно представить протекающие процессы в природе и исследовать влияние отдельных параметров на их свойства. *Математические модели* позволяют количественно использовать явления, трудно поддающиеся изучению на физических моделях. *Натуральные модели* представляют собой масштабно-измененные объекты, они позволяют наиболее полно исследовать процессы, протекающие в натуральных условиях.

Модель должна отображать существенные явления процесса и быть оптимальной. Излишняя детализация усложняет модель и затрудняет теоретические исследования, делая их более громоздкими. Но в то же время слишком упрощенная модель не обеспечивает требуемую адекватность и точность. Изучить и проанализировать явление более полно можно лишь при условии, что его модель представлена описанием физической сущности и имеет математический вид.

Теоретические исследования при изучении моделей значительно ускоряет компьютер. Применение компьютера для моделирования оказывается полезным, если аналитическими методами невозможно установить количественную связь между входящими и выходящими параметрами, а получение эмпирической зависимости сопряжено с большими затратами.

Процесс моделирования на компьютере содержит пять этапов:

- 1) выделение основных факторов и характеристик процессов и описание взаимосвязи между ними с помощью математических уравнений;
- 2) преобразование математического описания к виду, удобному для ввода в компьютер;
- 3) составление программы для компьютера;
- 4) анализ полученных результатов;
- 5) сопоставление этих результатов с опытными.

Также моделирование можно осуществлять с помощью компьютерных программ [2].

4.3. Общие сведения об экспериментальных исследованиях

Эксперимент является важнейшей составной частью научных исследований, в основе которого находится научно поставленный опыт с точно учитываемыми и управляемыми условиями. В научном языке и исследовательской работе термин *эксперимент* обычно используется в значении, общем для целого ряда сопряженных понятий: целенаправленное наблюдение, воспроизведение объекта познания, опыт, организация особых условий его существования, проверка предсказания. В это понятие вкладывается научная постановка опытов и наблюдение исследуемого явления в точно учитываемых условиях, позволяющих следить за ходом его развития и воссоздавать его каждый раз при повторении этих условий. Само по себе понятие «эксперимент» означает действие, направленное на создание условий в целях воспроизведения того или иного явления и по возможности наиболее чистого, т.е. не осложняемого другими явлениями [3, 8, 9].

Основная цель эксперимента – выявление свойств исследуемых объектов, проверка справедливости гипотез и на этой основе широкое и глубокое изучение темы научного исследования. Постановка и организация эксперимента определяются его назначением. Эксперименты, которые проводятся в различных отраслях науки, являются отраслевыми и имеют соответствующие названия: физические, химические, биологические, социальные, психологические, и т.п.

Эксперименты различаются:

- по целям исследования (констатирующие, преобразующие, поисковые, решающие, контролирующие);
- по способу формирования условий (естественный и искусственный);
- по структуре изучаемых объектов и явлений (простые, сложные);
- по организации проведения (лабораторные, натурные, полевые, производственные и т.п.);
- по характеру внешних воздействий на объект исследования (вещественные, энергетические, информационные);
- по характеру взаимодействия средства экспериментального исследования с объектом исследования (обычный и модельный);
- по типу моделей, исследуемых в эксперименте (материальный и мысленный);
- по числу варьируемых факторов (однофакторный и многофакторный);
- по контролируемым величинам (пассивный и активный);

– по характеру изучаемых объектов или явлений (технологический, социометрический) и т.п.

Для классификации экспериментов могут быть использованы и другие признаки.

Естественный эксперимент предполагает проведение опытов в естественных условиях существования объекта исследования (чаще всего используется в биологических, социальных, педагогических и психологических науках).

Искусственный эксперимент предполагает формирование искусственных условий (широко применяется в технических и естественных науках).

Констатирующий эксперимент используется для проверки определенных предположений. В процессе этого эксперимента констатируется наличие определенной связи между воздействием на объект исследования и результатом, выявляется наличие определенных фактов.

Преобразующий, или созидательный, эксперимент предполагает активное изменение структуры и функций объекта исследования в соответствии с выдвинутой гипотезой, формирование новых связей и отношений между компонентами объекта или между исследуемым объектом и другими объектами. Исследователь в соответствии с раскрытыми тенденциями развития объекта исследования преднамеренно создает условия, которые должны способствовать формированию новых свойств и качеств объекта.

Поисковый эксперимент проводится в том случае, если затруднена классификация факторов, влияющих на изучаемое явление вследствие отсутствия достаточных предварительных (априорных) данных. По результатам поискового эксперимента устанавливается значимость факторов, осуществляется отсеивание незначимых.

Контролирующий эксперимент сводится к контролю за результатами внешних воздействий над объектом исследования с учетом его состояния, характера воздействия и ожидаемого эффекта.

Решающий эксперимент ставится для проверки справедливости основных положений фундаментальных теорий в том случае, когда две или несколько гипотез одинаково согласуются с этими явлениями. Этот эксперимент дает такие факты, которые согласуются с одной из гипотез и противоречат другой, например опыты по проверке справедливости ньютоновской теории истечения света и волнообразной теории Гюйгенса.

Лабораторный эксперимент проводится в лабораторных условиях с применением специальных моделирующих установок, типовых приборов, стендов, оборудования и т.д. Чаще всего в лабораторном экспе-

рименте изучается не сам объект, а его образец (модель). Этот эксперимент позволяет доброкачественно, с требуемой повторностью изучить влияние одних характеристик при варьировании других, тем самым получить хорошую научную информацию с минимальными затратами времени и ресурсов. Однако такой эксперимент не всегда полностью моделирует реальный ход изучаемого процесса, поэтому возникает потребность в проведении натурального эксперимента.

Натурный эксперимент проводится в естественных условиях и на реальных объектах. Этот вид эксперимента часто используется в процессе натурных испытаний изготовленных систем. В зависимости от места проведения испытаний натурные эксперименты подразделяются: на производственные, полигонные, полевые, полунатурные и т.п.

Натурный эксперимент всегда требует тщательного продумывания и планирования, а также рационального выбора методов исследования [3, 7].

Основной научной проблемой натурального эксперимента является обеспечение достаточного соответствия (адекватности) условий эксперимента реальной ситуации, в которой затем будет работать создаваемый объект. Поэтому центральными задачами натурального эксперимента являются:

- идентификация статистических и динамических параметров объекта;
- изучение характеристик воздействия среды на испытываемый объект;
- оценка эффективности функционирования объекта и проверка его на соответствие заданным требованиям.

В психологии, социологии, педагогике широко распространены эксперименты *открытые* и *закрытые*.

В *открытом эксперименте* задачи открыто объясняются испытуемым, в *закрытом* – в целях получения объективных данных эти задачи скрываются от испытуемого.

Закрытый эксперимент характеризуется тем, что его тщательно маскируют и работа протекает внешне в естественных условиях.

Простой эксперимент используется для изучения объектов, не имеющих разветвленной структуры, с небольшим количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, выполняющих простейшие функции.

В *сложном эксперименте* изучаются явления или объекты с разветвленной структурой и большим количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, выполняющих сложные функции.

Информационный эксперимент используется для изучения воздействия определенной (различной по форме и содержанию) информации на объект исследования. Чаще всего информационный эксперимент используется в биологии, психологии, социологии, кибернетике и т.п. С помощью этого эксперимента изучается изменение состояния объекта исследования под влиянием сообщаемой ему информации.

Вещественный эксперимент предполагает изучение влияния различных вещественных факторов на состояние объекта исследования. Например, влияние различных пластифицирующих добавок на подвижность бетонной смеси, прочность бетона и т.п.

Классический, или обычный, эксперимент – экспериментатор выступает в роли субъекта, познающего объект или предмет экспериментального исследования при помощи средств для осуществления эксперимента (приборы, инструменты, экспериментальные установки).

Различие между орудиями эксперимента при моделировании позволяет выделить мысленный и материальный эксперименты.

Мысленный эксперимент – одна из форм умственной деятельности познающего субъекта, в процессе которой структура реального эксперимента воспроизводится в воображении [3, 11].

Материальный эксперимент. В процессе этого эксперимента используются материальные, а не идеальные объекты исследования. Основное отличие материального эксперимента от мысленного в том, что реальный эксперимент представляет собой форму объективной материальной связи сознания с внешним миром, а мысленный эксперимент является специфической формой теоретической деятельности субъекта.

Сходство мысленного эксперимента с реальным определяется тем, что реальный эксперимент, прежде чем быть осуществленным на практике, сначала проводится человеком мысленно в процессе обдумывания и планирования. Поэтому нередко мысленный эксперимент выступает в роли идеального плана реального эксперимента, в известном смысле предваряя его.

Модельный эксперимент. Этот вид эксперимента в отличие от классического имеет дело с моделью исследуемого объекта. Модель входит в состав экспериментальной установки, замещая не только объект исследования, но часто и условия, в которых изучается некоторый объект.

Энергетический эксперимент используется для изучения воздействия различных видов энергии (механической, тепловой, электромагнитной и т.д.) на объект исследования. Этот тип эксперимента широко распространен в естественных науках.

Однофакторный эксперимент предполагает:

- выделение особозначимых факторов;
- поочередное варьирование факторов, интересующих исследователя;
- стабилизацию мешающих факторов.

Суть *многофакторного эксперимента* состоит в том, что варьируются все переменные сразу и каждый эффект оценивается по результатам всех опытов, проведенных в данной серии экспериментов.

При проведении *пассивного эксперимента* предусматривается измерение только выбранных показателей (переменных, параметров) в результате наблюдения за объектом без искусственного вмешательства в его функционирование. Например, наблюдение: за числом заболеваний вообще или какой-либо определенной болезнью; за интенсивностью, составом, скоростями движения транспортных потоков, за работоспособность определенной группы лиц; за числом дорожно-транспортных происшествий т.п.

Активный эксперимент связан с выбором специальных входных сигналов (факторов) и контролирует вход и выход исследуемой системы.

Технологический эксперимент направлен на изучение элементов технологического процесса (производства, оборудования, деятельности работников и т.п.) или процесса в целом.

Особым видом экспериментальных исследований является вычислительный эксперимент.

Вычислительным экспериментом называют методологию и технологию исследований, основанных на применении прикладной математики и электронно-вычислительных машин как технической базы при использовании математических моделей. Он основывается на создании математических моделей изучаемых объектов, которые формируются с помощью особой математической структуры, которая способна отражать свойства объекта, проявляемые им в различных экспериментальных условиях.

Но эти математические структуры превращаются в модели при некоторых условиях:

- когда элементам структуры дается физическая интерпретация;
- при установлении соотношения между параметрами математической структуры и экспериментально определенными свойствами объекта;
- когда характеристики некоторых элементов модели и модели в целом находят соответствие свойствам объекта.

Математические структуры являются моделью изучаемого объекта и отражают в математической, то есть символической или знаковой форме объективно существующие в природе зависимости, связи и законы.

Практически всегда математическая модель или её часть может сопровождаться элементами наглядности с соответствующими пояснениями, например, диаграммами, графиками, рисунками и т.д. Иногда модель какого-либо сложного устройства может по некоторым свойствам уподобляться модели простого объекта.

В основе каждого вычислительного эксперимента находится математическая модель, основанная на приемах вычислительной математики. Вместе с бурным развитием электронно-вычислительной техники развивается и современная вычислительная математика, состоящая из многих разделов. Например, не так давно появился дискретный анализ, дающий возможность получения любого численного результата только с помощью арифметических и логических действий. Здесь задача математики сводится к представлению решений, возможно приближительных, в виде последовательности арифметических операций, то есть алгоритма решения.

Теория и практика вычислительного эксперимента создавалась на основе математического моделирования методов вычислительной математики.

Технологический цикл вычислительного эксперимента делят на несколько этапов.

1. Для исследуемого объекта строится физическая модель. В рассматриваемом явлении она фиксирует разделение всех действующих факторов на главные и второстепенные. Последние на этом этапе исследования отбрасываются. Одновременно формулируются допущения и условия применимости модели, а также границы, в которых будут справедливы полученные результаты. Создают математическую модель специалисты, хорошо знающие данную область естествознания или техники, а также математики, представляющие себе возможности решения математической задачи. Модель записывается в математических терминах, в виде дифференциальных или интегродифференциальных уравнений.

2. Разрабатывается метод расчета сформулированной математической задачи. Эта задача представляется в виде совокупности алгебраических формул, по которым должны проводиться вычисления, а также условий, показывающих последовательность применения этих формул. Набор таких формул и условий носит название вычислительного алгоритма.

Вычислительный эксперимент имеет многовариантный характер, потому что решение поставленных задач часто зависит от многочисленных входных параметров. Но тем не менее каждый конкретный расчет в вычислительном эксперименте проводится при фиксированных значе-

ниях всех параметров. В результате вычислительного эксперимента довольно часто ставится задача определения оптимального набора параметров. При создании оптимальной установки приходится проводить большое число расчетов однотипных вариантов задачи, отличающихся значением лишь некоторых параметров. Поэтому при организации вычислительного эксперимента экспериментатору необходимо использовать эффективные численные методы.

3. Разрабатывается алгоритм и программа решения задачи.

4. При проведении расчетов в программе результат получается в виде некоторой цифровой информации, которую затем необходимо расшифровать. При вычислительном эксперименте точность информации определяется достоверностью модели, положенной в его основу, правильностью программ и алгоритмов для чего обычно проводятся предварительные «тестовые» испытания модели.

5. Обработка результатов расчетов, их анализ и выводы. На данном этапе может возникнуть необходимость уточнения математической модели, то есть её упрощения или усложнения; появиться предложения по созданию упрощенных инженерных способов решения и формул, дающих возможность получить необходимую информацию более простым способом.

В случае когда проведение натурных экспериментов и построение физической модели оказываются невозможными или слишком дорогостоящими, вычислительный эксперимент приобретает исключительное значение.

Примером вычислительного эксперимента могут стать исследования масштабов современного воздействия человека на окружающую среду. Например, изменение климатических условий на земле представляет собой результат очень сложного взаимодействия физических процессов, протекающих в атмосфере, в океане и на поверхности суши. Поэтому климатическую систему можно исследовать с помощью соответствующей математической модели, которая должна учитывать все эти взаимодействия. Масштабы климатической системы огромны, и эксперимент даже в одном каком-то регионе чрезвычайно дорог. Однако глобальный климатический эксперимент все-таки возможен, но не натуральный, а вычислительный, проводящий исследования не реальной климатической системы, а ее математической модели.

В науке и технике также известно немало областей, в которых вычислительный эксперимент оказывается единственно возможным при исследовании сложных систем [3].

В заключение отметим, что для проведения эксперимента любого типа необходимо:

- сформулировать гипотезу, подлежащую проверке;
- создать программы экспериментальных работ;
- определить способы и приемы вмешательства в объект исследования;
- обеспечить условия для осуществления процедуры экспериментальных работ;
- разработать пути и приемы фиксирования хода и результатов эксперимента;
- подготовить средства эксперимента (модели, установки, приборы, и т.п.);
- обеспечить эксперимент необходимым обслуживающим персоналом.

4.4. Методика и планирование эксперимента

Правильная разработка методики эксперимента имеет особое значение. *Методика* – это совокупность мыслительных и физических операций, размещенных в определенной последовательности, в соответствии с которой достигается цель исследования. При разработке методики проведения эксперимента обходимо предусматривать:

- проведение предварительного целенаправленного наблюдения над изучаемым объектом или явлением с целью определения его исходных данных (выбор варьирующих факторов, гипотез);
- создание оптимальных условий, в которых возможно экспериментирование (подбор объектов для экспериментального воздействия, устранение влияния случайных факторов);
- систематическое наблюдение за ходом развития изучаемого явления и точные описания фактов;
- определение пределов измерений;
- проведение систематической регистрации измерений и оценок фактов различными способами и средствами;
- создание перекрестных воздействий, повторяющихся ситуаций, изменение условий и их характера;
- создание усложненных ситуаций с целью подтверждения или опровержения ранее полученных данных;
- переход от эмпирического изучения к логическим обобщениям, анализу и теоретической обработке полученного фактического материала.

Правильно разработанная методика экспериментального исследования предопределяет его ценность. Поэтому разработка, выбор, определение методики должно проводиться особенно тщательно.

Исследователь при выборе методики эксперимента должен удостовериться в ее практической пригодности.

В методике подробно разрабатывается процесс проведения эксперимента, составляется последовательность проведения наблюдений и операций измерений, детально описывается каждая операция в отдельности с учетом выбранных средств для проведения эксперимента, обосновываются методы контроля качества операций, обеспечивающие при минимальном (установленном ранее) количестве измерений их заданную точность и высокую надежность.

Не менее важным разделом методики является выбор методов обработки и анализа экспериментальных данных. Обработка данных сводится к систематизации всех цифр, классификации и анализу. Результаты экспериментов должны быть сведены в графики, формулы, таблицы, позволяющие качественно и быстро сопоставлять и анализировать полученные результаты. Все переменные должны быть оценены в единой системе единиц физических величин.

Особое внимание в методике должно быть уделено математическим методам обработки и анализу данных, например, аппроксимации связей между варьирующими характеристиками, установлению эмпирических зависимостей, установлению различных критериев. Диапазон чувствительности или нечувствительности критериев должен быть стабилизирован. При разработке плана-программы эксперимента всегда необходимо стремиться к его упрощению без потери достоверности и точности.

По своему объему эксперименты могут быть различными. В лучшем случае достаточно лабораторного, в худшем приходится проводить серию исследований: полигонных, поисковых или предварительных, лабораторных. На проведение любого эксперимента затрачивается большое количество ресурсов, производится множество наблюдений и измерений. Иногда может оказаться, что выполнено много лишнего и ненужного. Чаще это вызвано тем, что экспериментатор нечетко обосновал цель и задачи эксперимента. Поэтому важно, прежде чем приступить к проведению эксперимента, правильно и четко разработать его методологию.

В последнее время исследователи чаще стали применять математическую теорию эксперимента, которая позволяет значительно уменьшить объем работы и повысить точность исследования. Методология эксперимента в этом случае включает такие этапы, как разработка плана-прог-

раммы; оценка измерений и выбор средств для проведения эксперимента; математическое планирование эксперимента с одновременным проведением эксперимента; обработка и анализ полученных данных.

Таким образом, методика эксперимента – это система различных способов или приемов для последовательного и наиболее эффективного осуществления эксперимента.

Каждый экспериментатор должен составить *план* или *программу* проведения эксперимента, который включает:

- постановку цели и задач эксперимента;
- обоснование объема эксперимента, числа опытов;
- выбор варьируемых факторов;
- определение последовательности изменения факторов;
- порядок реализации опытов;
- выбор шага изменения факторов, задание интервалов между будущими экспериментальными точками;
- описание проведения эксперимента;
- обоснование средств измерений;
- обоснование способов обработки и анализа результатов эксперимента [3, 10].

Кроме перечисленных выше пунктов план эксперимента включает: наименование темы исследования; рабочую гипотезу, методику эксперимента, перечень необходимых материалов, приборов, установок; список исполнителей, календарный план и смету.

Таким образом, проведение эксперимента – это важнейший и наиболее трудоемкий этап, при его выполнении очень важна последовательность проведения опыта. После установления объема эксперимента составляют перечень средств измерений, материалов, список исполнителей, календарный план и смету расходов.

Ведение журнала, в котором фиксируются все характеристики исследуемого процесса и результаты наблюдений, является обязательным требованием проведения эксперимента. Также одновременно с проведением эксперимента исполнитель должен проводить предварительную обработку результатов и их анализ [3, 9].

Планирование эксперимента необходимо производить в наиболее короткий срок и с наименьшими затратами, получая при этом достоверную и точную информацию. Этого можно достигнуть при планировании определенных правил, которые учитывают вероятностный характер результатов измерений и наличие внешних помех, которые могут воздействовать на изучаемый объект.

Все факторы, определяющие процесс, изменяются одновременно по специальным правилам, а результаты эксперимента представляются в виде математической модели, обладающей некоторыми статическими свойствами.

Таким образом, можно выделить несколько этапов планирования эксперимента:

- сбор и анализ собранной информации;
- выбор входных и выходных переменных, области экспериментирования;
- выбор математической модели, при помощи которой будут представляться экспериментальные данные;
- план эксперимента и выбор критерия оптимальности;
- проведение анализа данных и определение метода;
- проведение эксперимента;
- проверка статических предпосылок для полученных экспериментальных данных;
- обработка полученных результатов;
- интерпретация и рекомендации по использованию полученных результатов.

В процессе сбора и анализа собранной и обработанной информации устанавливают и анализируют все известные данные об изучаемом процессе или объекте, какие факторы и как влияют на состояние процесса или объекта, их взаимосвязь, возможные пределы изменения и т.д.

Основные требования для выбора входных факторов это возможность установления нужного значения данного фактора и поддержание его в течение всего опыта.

Факторы могут быть качественными и количественными. Уровням количественных факторов соответствует числовая шкала (давление, температура и т.п.). Качественными факторами могут являться конструкции аппаратов, катализаторы, и т.п.

Выходные переменные – реакции либо отклики на воздействие входных параметров. Они могут быть *экономическими* (прибыль, расход энергии и т.п.), *технологическими* (надежность, стабильность горения дуги, и т.п.) и т.д.

Выбор модели исследования зависит от наших знаний об объекте или процессе, его целей и математического аппарата. Чаще исследуемые модели и задачи сводятся к задаче получения статической модели. Она представляет собой математическую зависимость между входными и выходными параметрами изучаемого процесса или объекта. Теорети-

ческой основой для решения задачи статического моделирования является предположение о возможности описания протекающего процесса математическим уравнением.

Часто задачей исследования является оптимизация процесса, т.е. определение таких значений входящих параметров, при которых выходящий параметр имеет максимальное или минимальное значение.

В решении этой задачи выделяют два основных подхода: теоретический и эмпирический.

Существует также и промежуточный подход. При использовании этого подхода вид исходящей модели представляется теоретически, а значения параметров рассчитываются по экспериментальным данным, полученным при изучении объекта.

В последние годы эмпирический подход используется гораздо шире. Это объясняется ростом сложности изучаемых объектов, недостатком времени на их детальное изучение, появлением новых эмпирических способов оптимизации и др. [2].

4.5. Метрологическое обеспечение экспериментальных исследований

Измерения занимают чрезвычайно важное место в экспериментальных исследованиях.

Измерение – это нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств (ГОСТ 16263-70). Сущность измерения составляет сравнение измеряемой величины с известной величиной, принятой за единицу, то есть эталон. Измерить какую-либо физическую величину Q значит сравнить ее с другой величиной q , принятой за единицу измерений, и выразить первую в долях последней.

В математической форме это можно представить в виде зависимости

$$Q = kq,$$

где k – любое положительное целое или дробное число, показывающее, во сколько раз Q больше или меньше q .

Метрология занимается теорией и практикой измерения. Это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. К основам метрологии относятся:

- общая теория измерений;
- единицы физических величин, то есть величины, которым по определению присвоено числовое значение, равное единице. Также их системы, то есть совокупность основных и производных единиц, обра-

зованная в соответствии с некоторыми принципами, например, Международная система единиц – СИ;

- методы и средства измерений. К методам относят совокупность приемов использования принципов и технических средств, применяемых при измерениях и имеющих нормирование метрологических свойств;

- методы определения точности измерений;

- основы обеспечения единства измерений. Результаты измерений обязательно должны быть выражены в узаконенных единицах, а погрешности измерений известны с заданной вероятностью, что возможно только при единообразии средств измерения. Они должны быть градуированы в узаконенных единицах, и их метрологические свойства должны соответствовать нормам [3, 12].

В метрологии важнейшее значение имеют эталоны и образцовые средства измерения. *Эталоном* считаются средства измерения или их комплекс, обеспечивающие воспроизведение и хранение единицы с целью передачи ее размера нижестоящим средствам измерения. Эталоны выполняются по особой спецификации. В России эталонная база содержит более 120 государственных эталонов, в том числе единицы массы, длины и др. [3, 13].

Именно образцовые средства измерений служат для проверки по ним рабочих и технических средств измерения, постоянно используемых непосредственно в исследованиях.

Передача рабочим средствам размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений осуществляется государственными и ведомственными метрологическими органами, составляющими метрологическую службу России (ГОСТ 16263-70). Деятельность этих органов в нашей стране обеспечивает единство измерений и единообразие средств измерений.

Метрологическая служба России связана со всей системой стандартизации. Метрология сама дает методы определения и контроля показателей, при помощи которых осуществляется стандартизация измерений и обеспечивается достоверность, сопоставимость показателей качества, закладываемых в стандарты. Этим и объясняется то большое внимание, которое уделяется развитию метрологической службы.

Метрологическая служба в нашей стране представляет собой разветвленную сеть научных и контрольно-испытательных организаций. Органы метрологической службы способны выполнять значительные работы в научно-теоретических и прикладных аспектах точных измерений.

В настоящее время работу по стандартизации и метрологии в стране возглавляет Государственный комитет по стандартам России (Госстандарт РФ). В его задачи входит совершенствование системы стандартизации и метрологии, расширение масштабов их использования для эффективного повышения технического уровня и качества продукции всех отраслей народного хозяйства, укрепление и развитие государственной метрологической службы, стандартизация методов и средств измерений и др.

Метрологическая служба в зависимости от задач и функций, выполняемых ею, подразделяется на государственную и ведомственную.

Проведение повседневной систематической работы в ведомстве или на предприятии по обеспечению общегосударственного единства измерений является главным предназначением метрологической службы, организуемой в министерствах и ведомствах, на отдельных предприятиях, в научно-исследовательских институтах, вузах. Поэтому существует неразрывная связь ведомственной метрологической службы с государственной, последняя в этом вопросе является ведущей, решающей и контролирующей.

Измерения могут быть *статическими*, когда измеряемая величина не изменяется во времени и *динамическими*. Измерения также бывают прямые и косвенные. При *прямых* измерениях искомую величину устанавливают непосредственно из опытов. При *косвенных* – функционально от других величин, определяемых прямыми измерениями, например измерение плотности тела через его массу и объем. Ещё различают измерения абсолютные и относительные. **Абсолютные** – это прямые измерения в единицах измеряемой величины. **Относительные** – измерения, представленные отношением измеряемой величины к одноименной величине, принимаемой за исходную.

Также существует три класса измерений: особоточные, высокоточные и технические.

Как уже говорилось ранее, измерения являются основной составляющей частью любого эксперимента. От тщательности измерений зависит конечный результат эксперимента. Поэтому каждый исследователь должен уметь правильно измерять изучаемые величины, знать закономерности измеряемых процессов, правильно оценивать погрешности при измерениях, определять наилучшие условия измерений, при которых ошибки будут наименьшими, вычислять значения величин и их необходимое минимальное количество и проводить общий анализ результатов измерений [3].

В метрологии различают несколько основных методов измерения.

Метод непосредственной оценки. Он определяет значение величины непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия (например, измерение массы на циферблатных весах).

Метод сравнения с мерой. При его использовании измеряемую величину сравнивают с величиной воспроизводимой меры (например, измерение массы на рычажных весах с уравновешением гирями).

Нулевой метод применяется для результирующего эффекта воздействия величины на прибор до нуля, например измерение электрического сопротивления мостом с полным его уравновешиванием.

Дифференциальный метод основан том, что на измерительный прибор воздействует разность измеряемой и известной величины, воспроизводимой мерой, например, измерения, выполняемые при проверке мер длины сравнением с образцовой мерой на компараторах.

Метод совпадений. Разность между измеряемой величиной и величиной воспроизводимой меры измеряется с использованием периодических сигналов или совпадения отметок шкал.

Метод замещения. При его использовании измеренную величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой, например взвешиванием с поочередным помещением измеряемой массы и гири одну и ту же чашку весов.

Средства измерений являются обязательной и неотъемлемой частью экспериментальных исследований. Они являются совокупностью технических средств, имеющих нормированные погрешности, которые дают необходимую информацию для экспериментатора.

В настоящее время выпускается большое количество средств измерений и наблюдений для измерения показателей механических, физических, химических, а также структуры различных материалов и изделий и т.д.

К средствам измерений относятся измерительные приборы, меры, установки и системы. *Мера* является самым простым средством измерения и предназначена она для воспроизведения физической величины заданного размера, например, гиря – мера массы.

Также выделяют средства измерения, которые позволяют непосредственно определить испытываемый показатель, например пресс для определения прочности материалов. Средства измерения, которые дают возможность косвенно судить об исследуемом показателе, например ультразвуковой дефектоскоп, который позволяет оценить прочность материала по скорости прохождения ультразвука.

Измерительная установка или стенд. Это особая система, состоящая из основных и вспомогательных средств измерений, предназначенных для измерения одной или нескольких величин. Установки могут вырабатывать сигналы, удобные для автоматической обработки результатов измерений. При проведении эксперимента иногда приходится создавать измерительные установки с фиксацией различных физических величин.

Измерительный прибор – это средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателя. Характеристиками измерительных приборов являются стабильность измерений, величина погрешности и точности и чувствительность.

Все приборы классифицируются по точности измерения, стабильности показаний, чувствительности, пределам измерения и др.

Точность измерений – это степень приближения измерения к действительному значению измеряемой величины.

Погрешность измерения – это алгебраическая разность между действительным значением и полученным при измерении. Количество минимальных измерений обеспечивает устойчивое среднее значение измеряемой величины, удовлетворяющее заданной степени точности.

Погрешность является одной из важных характеристик любого прибора, используемого при проведении эксперимента. Она может быть абсолютной и относительной:

абсолютная погрешность

$$b = \pm (x_u - x_d),$$

относительная погрешность

$$b = \pm \frac{x_u - x_d}{x_d} 100 \%,$$

где x_u – показания прибора; x_d – действительное значение измеряемой величины, полученное более точным методом.

Основными погрешностями прибора называются суммарные погрешности, которые установлены при нормальных условиях.

Чтобы повысить достоверность измерений и их точность, необходимо уменьшить погрешность. Погрешности при измерениях могут возникнуть вследствие ряда причин: влияние различных внешних факторов в процессе опытов, недостаточно тщательное проведение опытов; несовершенство методов и средств измерений; субъективные особенности экспериментатора и т.д.

Различают систематические и случайные погрешности. *Систематические* – это погрешности, которые при повторных опытах остаются постоянными. При известных численных значениях погрешностей их нужно учитывать во время повторных опытов. Систематические погрешности можно разделить на пять групп:

- 1) влияние внешней среды: вибрация, магнитные и электрические поля, влажность и т.д.;
- 2) неправильная установка средств измерений;
- 3) инструментальные, например, из-за износа инструмента, и т.д.;
- 4) методические, которые обоснованы выбором метода измерения;
- 5) субъективные.

Случайные погрешности. Они могут возникнуть случайно при повторных измерениях. Эти погрешности нельзя учесть и исключить, но при многократно повторенных измерениях с помощью статистических методов их можно выявить и исключить.

Диапазон измерения прибора – это часть диапазона показаний прибора, для которой установлены его погрешности. При известных погрешностях прибора диапазон измерений и показаний прибора совпадает.

Размахом прибора называют разность между его максимальными и минимальными показателями. Если это непостоянная величина, то есть если при обратном ходе имеется увеличение или уменьшение хода, то эту разность называют *вариацией* показаний. Эта величина является простейшей характеристикой погрешности прибора.

Способность отсчитывающего устройства реагировать на изменения измеряемой величины является ещё одной характеристикой прибора и называется *чувствительностью*. Порогом чувствительности прибора является наименьшее значение измеренной величины, вызывающее изменение показания прибора, которое можно зафиксировать.

Ещё одной из основных характеристик прибора является его *точность*. Она характеризуется суммарной погрешностью.

Все приборы в зависимости от допускаемой погрешности делятся на классы. *Классом точности* является обобщенная характеристика, определяемая пределами основной и дополнительных допускаемых погрешностей, влияющих на точность. Класс точности часто обозначают допускаемой погрешностью в процентах (1–2 и т.д.).

Воспроизводимость прибора, или стабильность. Это свойство отсчетного устройства прибора обеспечивает постоянство показаний одной и той же величины. Она определяется вариацией показаний.

Выходной сигнал средств измерения фиксируется отсчетными устройствами. Они могут быть цифровыми, шкальными и регистрирующими.

Важной частью прибора является *шкала*. Длиной деления шкалы называют расстояние в миллиметрах между двумя смежными отметками на шкале. Разность между значениями измеряемой величины, соответствующую началу и концу шкалы, называют диапазоном показаний прибора [3, 14, 15].

Все средства измерения, используемые в научных исследованиях, проходят обязательную периодическую *поверку* на точность. Поверка предусматривает уменьшение погрешностей прибора. Она позволяет установить соответствие данного прибора регламентированной степени точности, а также определить возможность его применения для данных измерений. При поверке средств измерения определяются погрешности и устанавливается, не выходят ли они за пределы допускаемых значений.

В России государственные метрологические институты и лаборатории по надзору за стандартами и измерительной техникой производят государственный контроль по обеспечению единства мер. Все средства измерений проверяются каждые 1–2 года.

Из вышесказанного можно сделать вывод о том, что очень важным моментом в организации научного эксперимента является выбор средств измерений. Средства измерения должны:

- максимально соответствовать тематике, цели и задачам научно-исследовательской работы;
- обеспечивать при проведении экспериментальных работ высокую производительность труда;
- обеспечивать требуемое количество экспериментальных работ, то есть заданную степень точности при минимальном количестве измерений;
- обеспечивать высокую воспроизводимость и надежность, по возможности исключать систематические ошибки, при этом желательно максимально использовать средства измерений с автоматической записью;
- иметь высокую экономическую эффективность, то есть минимум затрат людских, денежных и материальных ресурсов;
- обеспечивать эргономические требования эксперимента;
- удовлетворять требованиям техники безопасности и пожарной безопасности.

Таким образом, важнейшим фактором успешного проведения научных исследований является метрологическое обеспечение научных исследований и особенно обеспечение единства измерений, разнообразие

средств измерения. Поэтому без успешного развития метрологии невозможен прогресс в развитии науки и, наоборот, без успешного развития науки невозможен прогресс в метрологии.

4.6. Организация рабочего места экспериментатора

Рабочее место экспериментатора – это часть рабочего пространства, на которое распространяется его непосредственное воздействие в процессе исследования.

Рабочим пространством называется часть лабораторного или производственного помещения, оснащенная необходимыми экспериментальными средствами и обслуживаемая одним или группой исследователей. Рабочее пространство может быть:

- стационарным, например лаборатория, научно-исследовательское учреждение, полигоны и т.п.;
- мобильным, например ходовые лаборатории;
- условно-стационарным, например передвижные лаборатории, временные полигоны.

Лабораторией является специально оборудованное помещение, в котором производятся экспериментальные исследования. В соответствии с особенностями рабочего пространства выделяют три типа исследовательских лабораторий: стационарные, передвижные и ходовые.

В стационарной лаборатории рабочее место комплектуется специальным рабочим столом. В зависимости от назначения лаборатории каждый лабораторный стол должен обеспечиваться электричеством, газом, водой, паром, сжатым воздухом и общим вакуумом. На столах размещаются штепсели для включения электроприборов, компьютеров, настольных ламп, нагревательных приборов (паяльники, плитки), размещенных на кусках толстого листового асбеста. Освещенности рабочего места следует уделять особое внимание.

Оборудование передвижных лабораторий должно быть приближено к стационарным, но несколько уступает им из-за нехватки площадей. Например, вместо лабораторного стола передвижная лаборатория оснащается откидным столиком для ведения необходимых записей в процессе проведения эксперимента.

Экспериментатор в лаборатории выполняет весьма ответственную работу. От неё часто зависит правильность решения теоретической или практической задачи в целом. Главными условиями эффективной экспериментальной работы являются: аккуратность, тщательность подго-

товки эксперимента, точность при выполнении предписаний методики, внимательность при проведении эксперимента. Исследователь, приступая к проведению эксперимента, должен еще раз обдумать и уточнить методику, подготовить всю необходимую документацию (акты, лабораторные тетради, журналы), которая предназначена для регистрации хода и результатов опытов.

Все наблюдения, определения и анализы необходимо записывать в специальный журнал. Его форма должна соответствовать исследуемому процессу с максимальной фиксацией всех фактов и условий их появления. Исполнитель должен при получении в одном статистическом ряду результатов, резко отличающихся от соседних измерений, записать все данные без искажений и указать обстоятельства, которые сопутствуют указанному измерению. В дальнейшем это позволит установить причины отклонений и соответствующим образом классифицировать их. Если необходимо в процессе измерения произвести простейшие расчеты, то они должны быть внесены в журнал или в отдельную тетрадь с указанием даты проведения опыта, номера и серии опыта.

Лабораторные журналы и тетради являются важнейшими первичными документами исследователя, поэтому должны содержаться в порядке и обеспечивать возможность логической проверки. Нужно стремиться не допускать в них исправлений, а при необходимости исправления должны делаться так, чтобы не происходило путаницы при расчетах. Любое исправление должно сопровождаться пояснением экспериментатора и краткой справкой о причинах исправлений. В лабораторных журналах и тетрадях не следует делать записей или пометок, не относящихся к делу.

Исполнитель обязан систематически проводить поверку средств измерений. При проведении эксперимента исполнитель должен непрерывно следить за средствами измерений, правильностью их показаний, характеристикой окружающей среды, устойчивостью аппаратов и установок и не допускать посторонних лиц в рабочую зону.

Творческие особенности экспериментатора должны проявляться при предварительной обработке результатов и их анализе. Такой анализ позволяет контролировать исследуемый процесс, улучшать методику, корректировать эксперимент и повышать его эффективность.

В процессе экспериментальных работ необходимо соблюдать инструкции по промсанитарии, требования техники безопасности, пожарной профилактики. Особое внимание следует уделять уменьшению шума

при эксперименте, состоянию газовых кранов и электрооборудования. Газовые краны должны периодически проверяться специалистами на утечку газа. Все электроприборы должны быть заземлены.

При выполнении производственных экспериментов необходимо очень строго соблюдать все перечисленные требования. Вследствие больших объемов работ и значительной их трудоемкости ошибки, которые были допущены в процессе эксперимента, могут значительно увеличить продолжительность исследований и соответственно уменьшить их точность.

Все результаты измерений сначала сводят в таблицы по варьирующим характеристикам, потом тщательно изучают сомнительные цифры, которые резко отличаются от статистического ряда наблюдений. При анализе цифр необходимо установить точность, с которой нужно производить обработку опытных данных, то есть точность обработки не должна быть выше точности измерений.

Важное место при проведении экспериментальных исследований занимает анализ результатов эксперимента. Это завершающая часть, на базе которой делается вывод о подтверждении гипотезы научного исследования. Анализ эксперимента является творческой частью исследования. Поскольку за цифрами иногда трудно представить физическую сущность процесса, требуется особо тщательное сопоставление причин, фактов, обуславливающих ход того или иного процесса и установление адекватности гипотезы и эксперимента.

Результаты некоторых лабораторных и большинства производственных экспериментов оформляются протоколом, который подписывается экспериментатором и руководителем производства [3].

4.7. Влияние психологических факторов на ход и качество эксперимента

При проведении экспериментов измерения различных показателей не могут быть выполнены абсолютно точно, так как сами измерительные приборы имеют определенную погрешность. Погрешности измерений могут возникнуть вследствие недостаточно тщательного проведения опыта, несовершенства методов и средств измерений, влияния различных неучтенных факторов в процессе опыта и наконец субъективных особенностей самого исследователя.

Выше уже отмечалось, что погрешности измерений классифицируются на систематические и случайные. Систематические погрешности при повторных экспериментах остаются постоянными, при

этом если числовые значения этих погрешностей известны, то их можно учесть во время повторных измерений. Случайные погрешности могут возникнуть случайно при повторном измерении. Но при многократных повторениях с помощью статистических методов можно исключить наиболее отклоняющиеся случайные измерения.

Разновидностью случайных погрешностей могут стать грубые промахи, существенно превышающие систематические или случайные погрешности. Такие грубые погрешности и промахи чаще вызваны ошибками экспериментатора. Их можно легко обнаружить и впоследствии не учитывать при проведении анализа. Поэтому особо следует отметить, что получение и обработка статистических данных требуют от исследователя большого внимания и соответствующих навыков.

Иногда в серии одинаковых измерений встречаются измерения с очень большими случайными ошибками, имеющими малую вероятность. Такие измерения относят к промахам экспериментатора и затем отбрасывают. Но при этом не нужно забывать, что, хотя существует очень малая вероятность того, что отброшенное число является не промахом, а естественным статистическим отклонением, как правило, пренебрежение им не приводит к существенному ухудшению оценки результатов измерений. Действительно, в процессе эксперимента иногда бывает трудно отделить систематические погрешности от случайных. Однако при многократном и тщательном выполнении эксперимента этого результата можно достичь.

Главная задача исследователя провести измерения с наименьшими погрешностями, с использованием всех возможных методов устранения систематических и случайных ошибок.

Систематические погрешности можно разделить на следующие группы:

- инструментальные погрешности, которые появляются вследствие нарушений средств измерений из-за неточности градуировочных шкал, износа и старения узлов и деталей средств измерений, возникающих по причине их неправильной установки;

- погрешности, которые возникают в результате действия внешних факторов (высокая температура воздуха, атмосферное давление и влажность воздуха, магнитные и электрические поля, вибрация и колебания от движущегося транспорта и др.);

- субъективные погрешности, которые могут возникнуть вследствие индивидуальных, психофизиологических, физиологических, антропологических свойств человека.

Среди погрешностей измерений важное место занимают *субъективные*. Их источниками являются психологические или психофизиологические причины. Например, из-за дефектов зрения экспериментатор может недостаточно точно считывать показания приборов. Для устранения таких погрешностей достаточно обеспечить требуемое освещение и подобрать соответствующую градуировку шкал приборов.

Также к *психологическим* причинам погрешностей относят инерционность мышления и различные психологические барьеры. Довольно часто новые и неожиданные результаты эксперимента исследователь стремится понять в рамках старых представлений, но они в эти рамки не укладываются и рассматриваются им как промахи. Здесь проявляется инерционность мышления экспериментатора, то есть его вера в совершенство и универсальность старых представлений, а может, просто боязнь нового.

Бывает, что ошибки эксперимента связаны с тем, что исследователь не представляет себе четко, что он собирается получить. В результате могут быть не учтены важнейшие факторы, а это существенно затруднит анализ экспериментальных данных.

Иногда в процессе анализа результатов эксперимента исследователь бессознательно подгоняет экспериментальные данные для подтверждения ранее выдвинутой гипотезы. Эта опасность особенно велика, если вывод делается на основании данных, на которых могут существенно сказываться ошибки измерения и влияние неучитываемых факторов. В таких условиях нетрудно подобрать достаточное количество фактов, подтверждающих принятую гипотезу, объяснить заметные отклонения промахами и тем самым уйти от истины. Для исключения таких ошибок известный физик Резерфорд проводил серии опытов, показатели которых учитывали студенты, не знавшие, в чем заключается опыт, а кривые по полученным точкам проводили другие люди, также не знавшие, что должно получиться. Применение такой методики обработки материалов эксперимента позволило Резерфорду и его ученикам не сделать ни одного ошибочного открытия, в то время как в других лабораториях таких «открытий» было немало.

Всё вышеизложенное доказывает, что любой результат эксперимента должен многократно проверяться и восприниматься критически. Перепроверку результатов эксперимента целесообразнее осуществлять в другое время дня или по истечении нескольких дней.

После завершения всех серий эксперимента исследователь может принять решение: признать ли основную часть работы законченной;

есть ли необходимость провести дополнительный сбор информации и отбор материала с целью подтверждения гипотезы; признать свою работу как неудачную и т. д.

При длительных опытах рекомендуется периодически обсуждать их в научном коллективе. Это позволяет исследователю своевременно скорректировать ход эксперимента и направить его в нужном направлении [3].

Вопросы для самоконтроля

1. Расскажите о теоретических исследованиях.
2. В чем заключается различие между эмпирическим и теоретическим знанием?
3. Модели теоретического исследования.
4. Какова роль эксперимента в научном исследовании?
5. Какие виды экспериментов вы знаете?
6. В чем суть вычислительного эксперимента?
7. Что в себя включает план эксперимента?
8. Как планируется эксперимент?
9. Что такое измерение? Его виды.
10. Как организовать рабочее место экспериментатора?