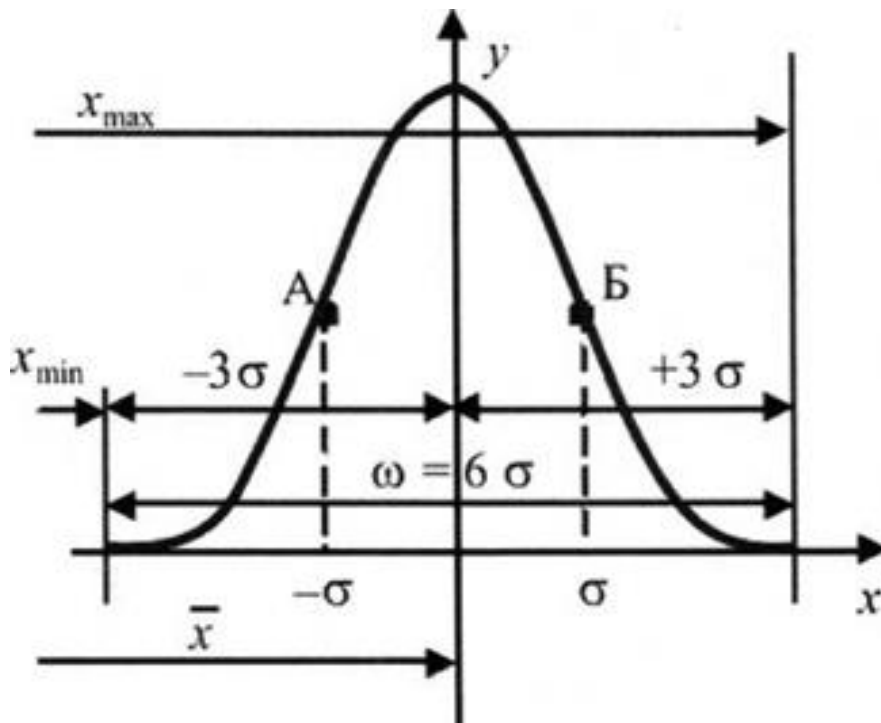


**А.В. КУЗЬМИН, В.А. БЕЛОМЕСТНЫХ, А.В. ШИСТЕЕВ**

# **НАУЧНЫЕ МЕТОДЫ В РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**



Молодежный  
2021

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет  
им. А.А. Ежевского»

**А.В. Кузьмин, В.А. Беломестных, А.В. Шистеев**

# **НАУЧНЫЕ МЕТОДЫ В РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Учебное пособие*

Молодежный  
2021

УДК 631.158:006  
К 893

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского  
(протокол № 1 от 29 ноября 2021 г.)

Рецензенты:

**С. С. Ямпил**ов, д.т.н., профессор кафедры «Биомедицинская техника, процессы и аппараты пищевых производств» ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления»

**П.И. Ильин**, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Эксплуатация МТП, БЖД и профессиональное обучение» ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского»

**Кузьмин А.В., Беломестных В.А., Шистеев А.В. Научные методы в разработке новых технологий: Учебное пособие.** – Молодежный: Издательство Иркутского ГАУ, 2021.- 142 с.: ил.

В настоящем учебном пособии представлены вопросы научных исследований в технической области. Описана взаимосвязь технических наук с инженерными исследованиями. Рассмотрены основные этапы и методы научных исследований. Материал данного учебного пособия адаптирован к существующей научно-практической деятельности в области техники и технологий, что позволяет обучающимся использовать полученные знания при решении конкретных научно-технических задач.

Учебное пособие предназначено для направления подготовки 35.04.06 «Агроинженерия» очной и заочной формы обучения по магистерским программам. Пособие может быть полезным для аспирантов и преподавателей, интересующихся данными вопросами.

ISBN

© А.В. Кузьмин, В.А. Беломестных, А.В. Шистеев, 2021  
© Издательство Иркутского ГАУ, 2021

## ВВЕДЕНИЕ

Потенциал применения научных инструментов и методов во всех сферах современной жизни продолжает возрастать с каждым днем. Немаловажную роль в этом играет постоянное появление новых и развитие уже существующих прогрессивных технологий.

В Российской Федерации существует огромный потенциал развития сельскохозяйственного сектора во многих областях. Аналитики предсказывают ощутимый рост в данной отрасли в ближайшие годы. Новейшие технологии в сельском хозяйстве существенно снижают себестоимость производства, увеличивают производительность и улучшают качество продукции.

К научным задачам относятся оптимизация сельскохозяйственного природопользования, агроэкологическая оценка земель, создание адаптивных к изменяющимся условиям климата систем земледелия на основе цифровых систем. Результаты исследований ориентированы на разработку систем проектирования различных сельскохозяйственных ландшафтов, систем земледелия, новых методов биоиндикации и биотестирования агроэкосистем, обеспечивающих производство растениеводческой продукции заданного количества и качества.

Актуальными задачами является обеспечение гарантированного сохранения генетических ресурсов культурных растений и их диких родичей для создания конкурентоспособных сортов и гибридов сельскохозяйственных культур. Поиск, сохранение, изучение генетических ресурсов растений и использование их в селекционном процессе откроет новые возможности для получения новых форм, сортов и гибридов сельскохозяйственных, лекарственных и ароматических культур.

Научной задачей в области молекулярной генетики является использование ее в селекции высокопродуктивных форм, сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, лекарственных и ароматических растений. В результате будут получены генетические карты с использованием маркеров, разработаны

технологии оздоровления, культивирования и клонального микроразмножения сельскохозяйственных культур, технологии идентификации и паспортизации сортов и гибридов, технологии контроля за переносом целевых генов в селекции, технологии регенерации растений из тканей и клеток.

Перспективным направлением является развитие семеноведения и системы семеноводства сельскохозяйственных культур, включающих инновационные технологии производства высококачественных семян с учетом почвенно-климатических условий субъектов Российской Федерации. Результаты создания научно обоснованных систем семеноводства с учетом специфики культуры и региона возделывания позволят снизить риски импортозависимости в посевном и посадочном материале в условиях массового импорта отдельных культур зарубежной селекции.

Кормопроизводство является необходимым условием развития животноводства. К задачам развития кормопроизводства относится создание новых экономически значимых технологий заготовки, консервирования и хранения кормов с использованием естественных, полевых и луговых кормовых угодий.

Так, в Программу фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021 - 2030 годы) [1] в раздел 4.1. Сельское хозяйство, лесное хозяйство, рыбное хозяйство в подраздел 4.1.5. Механизация, электрификация и автоматизация сельскохозяйственного производства вошли пункты: 4.1.5.1. Развитие энергообеспечения, энергосбережения, возобновляемой и альтернативной энергетики в агропромышленном комплексе Российской Федерации. 4.1.5.2. Энергоресурсосберегающие экологически безопасные машинные технологии, роботизированная техника и цифровые системы для производства высококачественной сельскохозяйственной продукции. 4.1.5.3. Технологии и автоматизированные средства технического сервиса, восстановления и повышения надежности техники, создание и применение нанотехнологий, поликомполитных и наноматериалов.

Дисциплина «Научные методы в разработке новых технологий» включает в себя: методологические основы научного познания, изучение структу-

ры и основных этапов научно-исследовательских работ. Данный курс изучает методы теоретического исследования, вопросы моделирования в научных исследованиях и помогает правильно выбрать направление научного исследования. При изучении курса магистранты должны научиться производить поиск, накопление и обработку научной информации, а также проводить, обрабатывать и оформлять результаты экспериментальных исследований.

В результате изучения дисциплины магистрант должен обладать следующими компетенциями:

УК-2.- Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла;

ОПК-3 - Способен использовать знания методов решения задач при разработке новых технологий в профессиональной деятельности;

ОПК-4.- Способен проводить научные исследования, анализировать результаты и готовить отчетные документы.

Основная задача учебного пособия состоит в том, чтобы в рамках предлагаемого курса не только познакомить магистрантов инженерного факультета с основами предмета, но и вызвать у них интерес к методам теоретических и экспериментальных исследований.

## **1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

*Научное исследование* – это процесс выработки новых научных знаний, форма реализации и развития науки, осуществление оценки влияния на объекты разных факторов и наряду с этим изучение взаимодействия между явлениями с целью получения убедительно доказанных и полезных для науки и практики решений.

Цель исследования определяется как точный механизм интеграции различных действий в систему «цель – средство – результат». *Цель научного исследования* – определение необходимого объекта, изучение его структуры, характеристик, связей на фундаменте разработанных в науке позиций и приемов познания, а также получение важных для деятельности человека результатов.

*Гипотеза* – научное утверждение, которое представляет собой вероятное решение проблемы, предположение, истинное значение которого не очевидно, т. е. требуются какие-то доказательства, которые являются целью исследования.

К примеру, объектом вашего исследования может быть муравейник в огороде, а предметом исследования – взаимоотношения муравьев и насекомых-вредителей. В этом случае цель исследования – роль муравьев в распространении тли в огороде, а гипотеза – допущение того, что муравьи распространяют тлю по всему огороду и охраняют ее от хищных насекомых. Необходимо отметить, что в ходе более глубокого ознакомления с состоянием исследований по проблеме часто корректируются и окончательно формулируются тема и цели исследования [3].

Параллельно с этим формируются задачи исследования, а именно вопросы, которые требуют получения ответов для достижения цели исследования.

В большинстве случаев ставятся следующие задачи:

- определение сущности, признаков, критериев изучаемого процесса, явления и на его основе объяснение, характеристика;
- исследование главных путей (методов, средств) решения проблемы.

Например, для нашего случая необходимо выдвинуть следующие задачи исследования:

1. Определить факты переноса тли муравьями на новые участки огорода.
2. Вычислить и отметить насекомых, которые поедают тлю.
3. Исследовать характер взаимосвязи этих насекомых с муравьями. Одновременно с этим определяются элементы научной новизны исследования, анализируется практическая и теоретическая полезность потенциальных результатов.

После того как сформулирована ваша гипотеза, обдумайте способы ее проверки и доказательства. Для этого необходимо составить план и выбрать методику реализации собственных исследований. Прежде всего нужно ориентироваться на методы, используемые на кафедре или в доступных вам научно-исследовательских лабораториях.

Для обсуждения плана исследования и графика его выполнения следует обратиться к научному руководителю работы. Аргументы в пользу вашей гипотезы необходимо находить в научной литературе. При этом выявляются противоречивые, не совсем ясные, не до конца решенные моменты, приводят новые примеры и т. п. Их можно по-новому сгруппировать, проверить еще раз, для чего могут быть применены различные методики проверки: анкетирование, эксперимент, наблюдение, моделирование, опрос информантов и т. п. Иногда эффективно использование новых подходов либо методов исследования, не применявшихся ранее к данному объекту [3].

Все результаты четко и грамотно фиксируются. Затем еще раз соотносятся рассуждения с темой, целью и задачами работы, при необходимости проводится их корректировка.

Далее определяется круг понятий и терминов, без которых обойтись невозможно. Они по-разному раскрываются в имеющейся литературе, следует подбирать наиболее приемлемые толкования понятий и терминов. Любое научное исследование начинается с разработки методологии.



В широком смысле слова методология – это совокупность наиболее общих мировоззренческих положений и принципов, обуславливающих личностную позицию исследователя, а также научное обоснование методов познания исследуемых явлений и процессов объективной действительности. Проще говоря, *Методология* – это группа методов, способов, приемов и их очередность, которая принята при разработке научного исследования, схема, план решения определенной научно-исследовательской задачи.

Любое научное исследование состоит в том, чтобы обнаружить, сформулировать и решить некоторый комплекс взаимосвязанных теоретических или практических задач, который составляет научную проблему. Проблема обычно возникает как следствие обострения объективных противоречий между достигнутым объемом и уровнем научных знаний и необходимостью решения новых научно-исследовательских или практических производственных задач. Для решения проблемы предпринимаются специальные научные исследования. Под научным исследованием в широком смысле следует понимать комплекс теоретических построений и экспериментальных операций, выполняемых в отношении объекта (процесса) исследований для определения его свойств и закономерностей поведения с целью их познавательного или практического применения.

Способы исследования, а также способы подхода к изучаемым явлениям, планомерный путь научного познания и установления истины называют методами. Различают следующие методы исследований: всеобщий метод, общенаучные методы и конкретно-научные (частные) методы. Всеобщий метод – это метод познания мира и конкретных объектов вообще вне зависимости от их физической природы. Таким единственно правильным и последовательно научным методом является диалектический метод [2].

Процесс выполнения исследовательской работы включает в себя шесть этапов:

- 1) выбор темы;
- 2) определение цели и задач исследования;

- 3) теоретические исследования;
- 4) экспериментальные исследования;
- 5) реализация научных исследований [2].

### **1.1. Законы развития техники**

Развитие техники происходит согласно законам диалектики, при этом собственно законы техники можно разделить на две группы:

- 1) законы организации систем (определяют жизнеспособность системы);
- 2) законы эволюции систем (определяют развитие систем).

Наиболее общие из законов диалектики следующие:

1. Закон единства и борьбы противоположностей характеризует одно из основных понятий теории решения изобретательских задач – противоречие.

2. Закон перехода количественных изменений в качественные вскрывает общий механизм развития. Учёт закона перехода количественных изменений в качественные происходит на этапе выбора задачи и прогнозирования развития систем.

3. Закон отрицания отрицания (процесс развития происходит по спирали, но на более высоком уровне с применением новых элементов, материалов, технологий и т.д.).

К законам организации систем относятся:

4. Закон полноты частей системы: необходимым условием принципиальной жизнеспособности технической системы является наличие и минимальная работоспособность основных частей системы. Чтобы техническая система была управляемой, необходимо, чтобы хотя бы одна её часть была управляемой.

5. Закон «энергетической проводимости» системы: необходимым условием принципиальной жизнеспособности технической системы является сквозной проход энергии по всем частям системы.

6. Закон согласования ритмики системы: необходимым условием принципиальной жизнеспособности технической системы является согласование ритмики (частоты колебаний, периодичности) всех частей системы.

Наука является одной из важнейших составляющих деятельности человека, без которой невозможен технический прогресс. Например, в области машиностроения можно говорить об обеспечении оптимального уровня качества продукции, т.е. при суммарных затратах на создание и последующую эксплуатацию изделия, стремящихся к своему минимуму, вероятность безотказной работы изделия должна стремиться к своему максимуму. Обеспечить минимальные затраты на создание изделия возможно внедрением в производство современных ресурсосберегающих технологий, технологических приемов, методов и способов, созданных на научной основе. Целью научной деятельности является решение задачи, как правило, прикладного характера, которое позволит, например, усовершенствовать технологию, а в результате повысить ее технико-экономическую эффективность, критериями которой могут выступать качество и производительность.

Под человеческой деятельностью подразумевается деятельность ученых, т.е. людей, изучающих закономерности явления или процесса, которые объективно существуют, но еще не познаны или не до конца познаны. Оценка деятельности ученого в технической области имеет (в России) три степени – магистр техники и технологии, кандидат технических наук, доктор технических наук. Из существующего перечня наук по отраслям знаний – естественные, общественные, гуманитарные, технические, последние обеспечивают прямую связь с производством. Технические науки – специфическая система знаний о способах функционирования тех или иных технических объектов и систем, а также о методах конструкторско-технической деятельности.

Технические науки делятся на фундаментальные и прикладные. Фундаментальные исследования открывают новые явления и закономерности, а прикладные направлены на решение технической проблемы при известной заранее закономерности протекания того или иного процесса, явления. В част-

ности, технические науки для направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия», являются прикладными.

Одной из важнейших функций науки, в том числе технической, является предвидение: не проводя исследования, человек заранее предполагает получить некоторые вполне определенные результаты. Чтобы сформулировать предвидение о предполагаемом результате, необходимы знания в выбранной области исследований. Эти знания можно получить, опираясь на результаты ученых-предшественников. Речь идет о детальном изучении различных первичных (монографии, сборники научных трудов, журналы, диссертации, патентная документация и др.) и вторичных (реферативные журналы и сборники) научных документов и дальнейшей систематизации и анализе найденного материала (информации). Информация – одна из важнейших составляющих научной деятельности. От свойств информации – ее объективности, достоверности, актуальности, адекватности, значимости – будет зависеть вероятность ошибки при проведении исследования.

Исходным материалом для науки, в том числе технической, являются факты. Факт – объективно существующее явление. На основе анализа фактов формируются понятия, законы, теории, которые после проверки на адекватность могут войти в систему научных знаний. Если фактов недостаточно, то вместо понятия, закона, теории формируется гипотеза как предположительное представление о закономерностях протекания того или иного процесса. При возможности гипотеза также подлежит проверке [18].

## **1.2. Процесс научного исследования**

К основополагающим этапам научного исследования относятся:

- возникновение идеи;
- формирование понятия;
- формирование суждения;
- выдвижение гипотезы;

- доказательство правильности гипотезы и суждения.

*Идея* – объяснение явления или процесса интуитивно. Идея базируется на имеющихся знаниях по выбранному направлению исследований и вскрывает факт того, что ранее (предшественниками) не было замечено (какие-либо не замеченные особенности, закономерности протекания процесса, явления). По сути дела, предлагаемая идея подчеркивает или определяет новизну работы, что является обязательным в исследовательской деятельности.

Материализацией идеи выступает гипотеза, которая после уточнения превращается в закон (устойчивая закономерность взаимодействия элементов системы). В дальнейшем гипотеза может стать теорией. *Теория* – система обобщенного знания, объяснения тех или иных сторон действительности, формируемой на основе известных принципов, аксиом, законов, суждений, положений, понятий, категорий и фактов [18].

### **1.3. Методы исследований**

*Метод* – путь исследования, способ достижения цели, способ решения задачи. В области машиностроения (конструкторско-технологического обеспечения машиностроительных производств) находят применение следующие методы:

- наблюдение;
- счет;
- измерение;
- сравнение;
- эксперимент;
- обобщение;
- анализ;
- аналогия;
- моделирование.

*Наблюдение* – познание процесса взаимодействия объектов материального мира через различные органы чувств без вмешательства со стороны исследователя в этот процесс. Приведем несколько примеров.

1. Можно визуально оценить устойчивость протекания процесса электроэрозионной размерной обработки проволочным электродом инструментом, опираясь на колебания показаний вольтметра контроля напряжения в межэлектродном промежутке системы обратной связи электроэрозионного вырезного станка с ЧПУ. Если стрелка прибора находится в пределах одного и того же значения с максимальным отклонением не более  $\pm 0,5$  В, то процесс электроэрозионного резания устойчив. В противном случае требуется корректировка показателей электрического режима обработки.

2. По наличию следов дробления на обработанной шлифованием поверхности заготовки можно судить о затуплении шлифовального круга или о его дисбалансе.

3. Наличие прижогов на обработанной шлифованием поверхности заготовки может свидетельствовать о правильности выбора характеристики круга и назначения режима обработки, а также о затуплении инструмента.

4. Визуально можно оценить режущую способность лезвийного инструмента (например, токарного резца, сверла) по характерному звуку, приближающемуся к «свисту» в процессе обработки;

5. По запаху можно оценить состояние смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ).

*Счет* – нахождение результата, определяющего количественное соотношение параметров, характеризующих свойства объекта или процесса. Например, можно выполнить вычисления основного технологического времени токарной обработки заготовки ( $T_0$ ) при различных показателях режима, а затем соотнести их друг с другом ( $T_{01} > T_{02}$  или  $T_{01} < T_{02}$ ) [18].

*Измерение* – определение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств:

- измерить линейный размер заготовки с помощью штангенинструмента (штангенциркуля), микрометрического инструмента (микрометра), вертикального или горизонтального оптиметра, длинномера, индикаторного нутромера;
- измерить угловой размер заготовки с помощью угломера, часового проектора, оптической делительной головки;
- оценить отклонения формы и расположения поверхностей заготовки с помощью индикаторной или рычажной скобы, кругломера, индикатора часового типа или многооборотного;
- измерить шероховатость обработанной поверхности заготовки с помощью двойного микроскопа, профилографа-профилометра;
- оценить точность изготовления цилиндрического зубчатого колеса с помощью межосемера, накладного шагомера, эвольвентомера, шумомера и др.;
- измерить твердость поверхностного слоя материала заготовки с помощью твердомера;
- измерить величину износа режущей кромки инструмента с помощью оптического микроскопа [18].

*Сравнение* – установление различия между объектами материального мира как при помощи органов чувств, так и при помощи технических средств измерения. Например, можно визуально установить наличие на поверхностях заготовок дефектов (следов дробления, прижогов, царапин); сравнить качество обработанных поверхностей заготовок по параметру  $Ra$ , используя профилометр.

*Эксперимент* (проба, опыт) – процесс, в рамках которого реализуется взаимодействие между элементами технологической системы при изменяющихся условиях. Измерение условий взаимодействия осуществляется исследователем. Например, результатами натурального однофакторного эксперимента необходимо установить закономерность влияния скорости подачи  $S$ , мм/мин, на качество обработанной поверхности заготовки по среднему арифметическому отклонению профиля  $Ra$ , мкм, при токарной обработке проходным рез-

цом. Для этого исследователь, опираясь на предварительно разработанную методику проведения однофакторного эксперимента, обрабатывает на токарном станке  $n$  заготовок при изменяемых им различных значениях скорости подачи  $S$  в сторону ее увеличения. Затем измеряет шероховатость обработанной поверхности по параметру  $Ra$   $n$  заготовок, анализирует полученные результаты измерений, осуществляет обработку экспериментальных данных и в итоге строит график зависимости  $Ra$  от  $S$ , опираясь на который формулирует умозаключение о закономерности изменения  $Ra$  в зависимости от  $S$ .

*Обобщение* – получение общего понятия, в котором находит отражение главное, основное, характеризующее объекты данного класса. Рассмотрим несколько примеров обобщения результатов исследования.

1. Результатами натурального эксперимента доказано, что независимо от материала обрабатываемой заготовки качество поверхности на уровне микрогеометрии поверхностного слоя по параметру  $Ra$ , мкм, при токарной обработке проходным резцом будет ухудшаться с увеличением скорости подачи  $S$ , мм/мин.

2. Разработаны технологические рекомендации и технология нанесения покрытия на оснастку из титановых сплавов применительно к деталям различного назначения, что позволило сократить время нанесения защитного покрытия, снизить количество замен деталей, работающих под током в среде электролита.

3. Разработанная система управления параметрами качества нарезаемых зубчатых колес при зубодолблении на основе многомерного отображения процесса обработки позволяет рассчитать оптимальные режимы резания как для обычных материалов, так и для деталей, изготовленных из материалов с особыми физико-механическими свойствами.

*Анализ* – метод познания через расчленение или разложение предметов исследования (объектов, свойств) на составные части, является основой аналитического (теоретического) исследования. Например, в результате выполненного анализа значимых входных параметров установлено, что на форми-



рование погрешности торцового эвольвентного профиля зуба зубчатого колеса  $f_{fr}^{max}$  при электроэрозионном зубовырезании на станках с ЧПУ будут влиять:

- погрешность аппроксимации  $\Delta_a^{max}$  работы интерполятора системы ЧПУ-станка, амплитуда поперечных колебаний проволочного электрода-инструмента  $A_{max}$  под действием электростатических сил в зоне обработки;

- наибольшее значение высоты неровностей профиля  $R_{max}$ , зависящее от показателей электрического режима обработки генератора импульсов станка.

*Аналогия* – метод, посредством которого достигается знание о предметах, объектах, явлениях на основании того, что они имеют сходство с другими предметами и явлениями. Например, методом аналогии при конструкторском проектировании можно назначить посадки в соединениях конструкции проектируемого станочного приспособления, опираясь на знание рекомендуемых посадок для станочных приспособлений аналогичного назначения, опробованных во время ранее проведенных испытаний.

*Моделирование* – исследование объектов, явлений, процессов путем построения и изучения их моделей (например, математических). Как правило, математическое моделирование реализуется с помощью прикладного программного обеспечения: оригинального, разработанного самим исследователем, или стандартного, рекомендуемого для широкого спектра моделирования различных статических и динамических процессов [18].

### 1.3. Системный анализ

Вследствие резко возросшей сложности объектов и систем стало трудно осуществимым, а порой и вообще невозможным теоретическое или экспериментальное исследование этих объектов или систем традиционными методами. Экспериментальные исследования усложнились, стали весьма трудоёмкими, снизилась безошибочность результатов этих исследований. Необходимость изучения свойств и функционирования таких систем привела к разработке и применению системного анализа.

Методы системного анализа применяются главным образом для выбора оптимальной структуры объекта, рационального взаимодействия его элементов и получения максимального конечного эффекта.

Важнейшими характеристиками систем являются их структура, сложность и организация. Структура системы определяется совокупностью отношений между элементами (подсистемами). Сложность системы характеризуется количеством переменных, необходимых для описания её состояния. Организация системы – это уровень целесообразности набора её элементов и характера взаимодействия между ними, обеспечивающий целенаправленное функционирование системы.

Взаимодействие составных частей системы с обрабатываемыми материалами или внешней средой проявляется в виде тех или иных эксплуатационных показателей. Вся совокупность рабочих процессов, операций, технологических и производственных процессов, осуществляемых системой, составляет процесс её функционирования.

Под *рабочим процессом* понимают совокупность взаимодействий орудий труда и объектов труда, направленных на обработку или переработку последних, с приведением к такому виду, в котором они необходимы для человеческого общества. Под *технологическим процессом* понимают процесс, протекающий в объекте труда при его обработке или переработке [18].

Под операцией понимают какие-либо действия, приводящие к изменению состояния или местонахождения орудия, или предмета труда.

Системный подход к исследованию сложных систем включает следующие основные этапы:

- рассмотрение системы как целого, обладающего свойствами, отличающимися от совокупности свойств его элементов;
- исследование элементов как самостоятельных систем, а также рассмотрение самой системы как элемента (подсистемы) другой (более сложной) системы;

- анализ всего многообразия свойств элементов системы, отношений между ними и свойств системы в целом;

- оптимизация структуры и процессов функционирования системы путём подчинения задач её элементов общей цели, стоящей перед системой.

Исследование объекта как системы предусматривает прежде всего построение его модели теоретическим или экспериментальным методом. *Модель* (описание объекта на том или ином языке) отображает группу его основных свойств и представляется обычно в виде функционального, морфологического и информационного описания. Модель функционирования объекта (функциональное описание) описывает изменение некоторых его характеристик во времени. Морфологическое описание раскрывает строение объекта: его элементы, структуру и связи, среди которых обычно выделяют информационные, энергетические и вещественные. Информационное описание показывает организацию объекта как системы и возникающие в ней информационные потоки.

Системный анализ эффективности функционирования объектов осуществляется с помощью специальных теоретических и экспериментальных методов. Эти методы позволяют выделять взаимосвязанные элементарные структурные единицы (подсистемы) объекта – этап *декомпозиции* и *структуризации*; оценивать их свойства и параметры – этап параметризации; устанавливать зависимости между параметрами подсистем и действующими внешними и внутренними факторами – этап *идентификации* (собственно построение математической модели), а затем осуществлять исследование полученных моделей известными методами анализа и синтеза.

Таким образом, системный анализ включает в себя четыре этапа:

- 1) постановка задачи исследования (определяются объект, цели и задачи исследования, а также критерии для изучения и управления объектом);

- 2) определение границ изучаемой системы и её структуры (объекты и процессы, имеющие отношение к поставленной задаче разбиваются на изучаемую систему и внешнюю среду). В этом случае различают замкнутые и открытые системы. При исследовании замкнутых систем влиянием внешней

среды на их поведение пренебрегают. Затем выделяют отдельные составные части системы, её элементы и устанавливают взаимодействие между ними и внешней средой;

3) разработка математического описания исследуемой системы;

4) проверка адекватности математического описания и его уточнение.

На этом же этапе проводится и собственно оптимизация системы по какому-либо из выбранных критериев. В качестве критериев оптимизации чаще всего принимаются: минимум энергозатрат на проведение процесса или минимум приведённых затрат, который включает в себя как энергозатраты на проведение процесса, так и затраты на изготовление и эксплуатацию оборудования. [18].

#### **1.4. Направление и этапы научного исследования**

*Научное исследование* – изучение различными научными методами того или иного явления или процесса. *Цель* научного исследования – получение еще неизвестных знаний о явлении или процессе и дальнейшее полезное использование этих знаний в практической деятельности [18].

Научное исследование имеет две составляющие:

- объект научного исследования;
- предмет научного исследования.

Под *объектом* научного исследования понимают материальную систему, а под *предметом* – структуру закономерностей взаимодействия элементов (факторов) этой системы.

Известна классификация научных исследований по видам:

- 1) связь с производством;
- 2) целевое назначение;
- 3) источники финансирования.

Ключевым в научном исследовании является выбор темы. Тема научного исследования – это отражение некоторой научной проблемы. Приведем несколько примеров:

- 1) повышение производительности и качества электрохимической размерной обработки крупногабаритных деталей в пульсирующей рабочей среде;
- 2) повышение точности и производительности фрезерования пространственно-сложных поверхностей на станках с ЧПУ;
- 3) совершенствование процесса обработки барельефов с учетом их оптических свойств;
- 4) повышение эффективности обработки заготовок дробью и улучшение условий труда операторов;
- 5) технологические возможности процессов зубонарезания цилиндрических колес;
- 6) управление параметрами качества нарезаемых колес при зубодолблении на основе многомерного отображения процесса обработки;
- 7) обеспечение точности цилиндрических зубчатых изделий на операциях электроэрозионного вырезания, выполняемых на станках с ЧПУ.

В рамках темы научного исследования необходимо получить ответы на некоторый круг научных вопросов или научных задач.

Самое главное, чтобы выбранная тема научного исследования отвечала следующим требованиям:

- актуальность;
- научная новизна;
- практическая ценность.

*Актуальность* определяет важность, значимость научной работы. *Научная новизна* – новое в науке (новая методика или методики решения задачи, которые более полно и достоверно выявляют закономерность протекания того или иного процесса или явления).

*Практическая ценность* подтверждается, как правило, наличием:

- технологических рекомендаций по условиям протекания процесса;
- новых конструкторских решений, на которые имеются патенты;
- оригинального программного обеспечения для решения задач научного исследования и принятого к промышленному использованию;

- технико-экономического эффекта от внедрения предлагаемых решений в производство.

В качестве примера можно привести выдержку из автореферата диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Обеспечение точности цилиндрических зубчатых изделий на операциях электроэрозионного вырезания, выполняемых на станках с ЧПУ», в которой подтверждается актуальность, научная новизна и практическая ценность работы.

*Актуальность темы.* В последнее время возрастает внимание к электроэрозионному зубовырезанию как способу, конкурентоспособному в ряде случаев по отношению к зубофрезерованию и зубодолблению при изготовлении зубчатых изделий (ЗИ) не только в единичном и мелкосерийном производстве, но и при достаточно больших объемах выпуска продукции. Однако до настоящего времени отсутствуют научно обоснованные рекомендации по проектированию технологии электроэрозионной обработки (ЭЭО) ЗИ – выбору технологического оборудования, режимов обработки и разработке управляющих программ (УП) для станков с ЧПУ, обеспечивающих получение ЗИ требуемой точности. Нет и систематизированных данных по технологической себестоимости, энергоемкости и производительности операций электроэрозионного зубовырезания, что сдерживает использование в промышленности этого прогрессивного способа зубоформообразования [18].

*Научная новизна.*

1. Разработана методика определения необходимого числа формообразующих точек  $N_1$  торцового эвольвентного профиля зуба ЗИ с внешним и внутренним ЗВ исходя из заданной точности.

2. Разработана методика оценки точности формы и взаимного расположения боковых поверхностей зубьев ЗИ на операции электроэрозионного зубовырезания, выполняемой на станке с ЧПУ, при различных условиях.

3. Получены зависимости для расчета погрешности профиля зуба и отклонения шага зацепления.

4. Предложены зависимости для расчета координат точек траектории перемещения электрода-инструмента (ЭИ) при электроэрозионном вырезании наружных и внутренних венцов ЗИ, и составлена программа автоматизированного расчета этих координат для разработки УП для станков с ЧПУ. Разработанные математические модели прошли экспериментальную проверку, которая показала их адекватность реальным условиям процесса электроэрозионного зубовырезания на станках с ЧПУ [18].

*Практическая ценность и реализация работы.*

1. С помощью оригинального программного обеспечения разработаны рекомендации:
  - по выбору числа формообразующих точек торцового профиля зуба при различных условиях электроэрозионного зубовырезания ЗИ (колес) различной точности на станках с ЧПУ;
  - по размерам ЗИ, при ЭЭО которых на станках с ЧПУ различных моделей обеспечивается их заданная точность;
  - по размерам ЗИ, при ЭЭО которых проволочным ЭИ определенного диаметра удельные энергозатраты будут равны или меньше энергозатрат на нарезание зубьев лезвийным инструментом.
2. Реализация способа контурного электроэрозионного зубовырезания в промышленности обеспечивает сокращение (при определенных условиях) затрат по критерию полной технологической себестоимости зубоформообразования в 1,1–2,5 раза.
2. Приняты к промышленному использованию в станкоинструментальном производстве ОАО «УАЗ» технологические рекомендации по условиям электроэрозионного зубовырезания и пакет программ автоматизированной технологической подготовки процесса зубовырезания».
3. К этапам научного исследования относятся:
  - 1) выбор темы;

- 2) анализ (обзор) литературы и других источников (поиск, подбор и изучение; критический анализ – достоинства и недостатки существующих решений проблемы; обобщение информации);
- 3) постановка задачи или задач (цель и задачи; пути решения; установление допущений и ограничений на решение; выбор методов научного исследования);
- 4) теоретический анализ (поиск научной идеи; формулировка научной гипотезы; создание модели исследуемого процесса; вычисления и анализ результатов по предложенным моделям);
- 5) проведение эксперимента (цели, задачи и планирование; методика эксперимента и измерений; оценка достоверности измерений; создание экспериментальной установки; проведение эксперимента; обработка данных);
- б) анализ результатов научного исследования (сопоставление результатов теории с практикой и оценка адекватности; уточнение моделей в случае неподтверждения адекватности; умозаключения по работе);
- 7) оценка практической ценности научного исследования (расчет технико-экономической эффективности предлагаемых решений; формулирование практических рекомендаций для производства);
- 8) внедрение результатов научного исследования в производство (акт опытно-промышленной апробации и внедрения). Реализация всех этапов научного исследования позволяет в целом подготовить законченную научную работу, в том числе на уровне магистерской диссертации [18].

### **1.5. Работа с научной информацией**

Изучение научной литературы, патентной и другой научно-технической информации – это важный этап в проведении научного исследования. Опираясь на научно-техническую информацию, можно реализовать обобщение, выполнить анализ, выявить проблему.



При выполнении научного исследования оперируют понятием *научный документ*. По сути дела, это материальный объект, содержащий научно-техническую информацию и предназначенный для ее хранения и использования. *Научный документ* бывает *первичным* и *вторичным*.

К *первичным научным документам* относятся:

- книги, брошюры, которые бывают научными, учебными, научно-популярными (монографии, сборники научных трудов, учебники, учебные пособия, курсы лекций, учебно-методические указания);
- законодательные, нормативные и директивные (технические регламенты, национальные стандарты, стандарты организации, национальные стандарты, инструкции, правила, методики);
- периодические издания (журналы);
- диссертации и авторефераты диссертаций;
- патентная документация (авторские свидетельства и патенты на способ или устройство, патенты на полезную модель);
- отчеты о научно-исследовательской работе.

К *вторичным научным документам* относятся:

- справочные издания (справочники);
- обзорные издания (аналитические, рефераты, библиографические обзоры);
- библиографические указатели (алфавитный, систематический, алфавитно-предметный).

Получить доступ к интересующим научным документам можно через научную библиотеку или Интернет-ресурсы.

Изучение научного документа осуществляют в два этапа. В рамках первого этапа реализуется беглое прочтение или просмотр документа, что дает общее представление об изучаемом материале, его объеме, структуре, стиле изложения, выделяются из текста знакомые и незнакомые положения, понятия и непонятные места.

В рамках второго этапа реализуется вдумчивое чтение научного документа с осмыслением его сути, делаются необходимые умозаключения. Наиболее быстрый поиск интересующей информации можно реализовать через реферативные журналы. Из периодических изданий (журналов, сборников научных статей), относящихся к первичным научным документам, следует обратить особое внимание на журналы: «Тракторы и сельхозмашины», «Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина», «Вестник Алтайского ГАУ», «Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова», «Научные технологии в машиностроении», «Вестник КрасГАУ», «Аграрный научный журнал», «Техника в сельском хозяйстве», «Упрочняющие технологии и покрытия», «Вестник ИрГСХА», «Вестник Восточносибирского государственного университета технологий и управления», «Известия Оренбургского ГАУ», «Сельский механизатор», «Известия Международной академии аграрного образования».

*Отбор и оценка фактического материала.* Возможно, что часть полученных при чтении научной литературы данных окажется бесполезной, очень редко они используются полностью. Поэтому необходим их тщательный отбор и оценка. Научное творчество включает значительную часть черновой работы, связанной с подбором основной и дополнительной информации, ее обобщением и представлением в форме, удобной для анализа и выводов. Нужно отбирать не любые факты, а только научные факты. Понятие «научный факт» значительно шире и многограннее, чем понятие «факт», применяемое в обыденной жизни. Научные факты характеризуются такими свойствами, как новизна, точность, объективность и достоверность. Новизна научного факта говорит о принципиально новом, неизвестном до сих пор предмете, явлении или процессе. Это не обязательно научное открытие, но это новое знание о том, чего мы до сих пор не знали.

Накопление такой предварительной информации – не механический, а творческий процесс, требующий целеустремленной энергии, настойчивости и творческой страсти. Ученый похож на строителя сложного и оригинального сооружения. Бережно и любовно он собирает нужные строительные материалы, все складывается в строгом и определенном порядке. Не беда, если материалы собраны в некотором избытке, лишь бы не было в них недостатка.

Собранную первичную научную информацию следует регистрировать. Формы ее регистрации различны:

- записи самого различного характера, в том числе выписки из протоколов опытов, заседаний кафедры (лаборатории), наблюдений в лабораторных журналах, и т.п.;

- оформление новой информации на специальных бланках, анкетах, статистических и других карточках, образующих в конечном результате тематическую картотеку;

- регистрация научной информации методами фотографии, рентгенографии, осциллографии, прием сигналов различных датчиков и регистрация их самописцами;

- графики, рисунки, схемы и другие графические материалы;

- расчеты, выполненные с помощью компьютеров;

- научные отчеты;

- материалы консультаций и отзывы специалистов по научным результатам;

- выписки из анализируемых документов, литературных источников (статей, книг, авторефератов, диссертаций и др.).

Одновременно с регистрацией собранного материала следует вести его группировку, сопоставлять, сравнивать полученные цифровые данные и т.п. При этом особую роль играет классификация, без которой невозможно построение или вывод. Классификация дает возможность наиболее коротким и правильным путем войти в круг рассматриваемых вопросов. Она облегчает поиск и помогает установить ранее не замеченные связи и зависимости.

Классификацию надо проводить в течение всего процесса изучения материала. Она является одной из центральных и существенных частей общей методологии любого научного исследования.

Процесс сбора, фиксации, хранения и классификации первичной научной информации желательно завершить написанием целостного обзорного текста, обобщающего и систематизирующего такую информацию [18].

## 1.6. Электронные формы информационных ресурсов

В настоящее время в России накоплены огромные запасы информации, сосредоточенной в разнообразных базах и банках данных, на дискетах, CD и DVD, на других носителях информации. Эта информация применяется повсеместно – в библиотеках, информационных центрах, музеях, архивах, образовательных учреждениях и других организациях.

*База данных* (БД) – это набор данных, достаточный для достижения установленной цели и представленный на машиночитаемом носителе в виде, позволяющем осуществлять автоматизированную переработку содержащейся информации.

*Банк данных* (БнД) – это автоматизированная информационная система, состоящая из одной или нескольких БД и системы хранения, обработки и поиска информации. Используются различные БД:

- документальные (запись отражает документ, содержит его библиографическое описание и, возможно, иную информацию);
- библиографические (документальные БД, в которых запись содержит только библиографическое описание);
- реферативные (документальные БД, в которых запись содержит библиографические данные, реферат или аннотацию);
- полнотекстовые (документальные БД, в которых запись содержит полный текст документа или его наиболее информативные части);

- гипертекстовые (БД, в которых запись содержит информацию в виде текста на естественном языке и указание на связи с другими записями, позволяющими компоновать логически связанные фрагменты БД);

- первичные или фактографические (БД, содержащие информацию, относящуюся непосредственно к данной предметной области) и др.

Самое главное в базах данных – надежное программное обеспечение и постоянное оперативное их обновление (актуализация сведений). В Российской книжной палате создан банк данных государственной библиографии, в котором есть авторитетные БНД, содержащие записи с полной информацией о сочинителях и их произведениях:

- имя индивидуального автора в форме для заголовка описания, краткая биографическая справка, тематическая направленность работ;

- принадлежность автора к стране;

- язык текста оригинала произведения;

- сведения о формулировке ссылочных записей от установленной формы заголовка описания к другой форме, используемой ранее, менее распространенной и т. д.;

- произведения автора, зарегистрированные в РКП с 1998 г., с указанием сведений, характеризующих издания с точки зрения охраны авторского права. Затем дается перечень работ автора из БД государственной библиографии РКП (начиная с 1992 г.).

Отдел каталогизации РГБ располагает БД «Авторы особых категорий», в которой содержатся записи о правителях и религиозных деятелях, оставивших заметный след в российской и всемирной истории. БД формируется на основе энциклопедических изданий и информации из хранящихся в библиотеке книг, пополняется и расширяется каждый день. Записи содержат нормативный заголовок, пригодный для включения в библиографическое описание или словарную статью, другие известные формы имени автора, ссылки на источники, в которых найдена информация об авторе, и на просмотренные источники, в которых такая информация не обнаружена.

В этой же библиотеке создана БД «Библиотеки Москвы», а в Российской государственной юношеской библиотеке – БД «Образование в России». Существует также множество других баз и банков данных. Кроме баз и банков данных, активно используются компактные оптические диски – CD, на которых выпускаются, например, многотомные энциклопедии и библиографические пособия. Например, уже есть сводные каталоги баз данных на CD, имеющихся в крупнейших библиотеках России (выпуска РГБ).

К электронным источникам информации следует отнести радио- и телевидение, Интернет, а также иную информацию, распространяемую в электронном виде (в том числе на различных компьютерных носителях). Как ни странно, но наибольшей популярностью у исполнителей письменных работ сегодня пользуется «русский» Интернет. И, в общем-то, понятно почему: в массовом сознании он уже давно воспринимается не иначе как бездонный источник бесплатной информации.

Сравнительно новое средство поиска, сбора, систематизации и анализа исходных источников информации представляют специализированные информационно-поисковые системы (СИПС). Их появление и бурное развитие самым непосредственным образом связано со стремительным прогрессом информационных и электронных технологий и, в частности, с изобретением компьютера, более совершенных операционных систем, а также новых средств программирования (прежде всего прикладных баз данных). В настоящее время СИПС получили широкое распространение и применение не только в библиотеках, но и других крупных хранилищах научно-технической информации. Ядром СИПС является мощный персональный компьютер (в последние годы все чаще – группа объединенных в сеть компьютеров), оснащенный универсальной операционной системой открытого типа (например, Linux) и прикладными средствами программирования. Общие преимущества информационно-поисковых систем хорошо известны даже неспециалистам, и потому не нуждаются в пространном комментировании. Следует лишь подчеркнуть, что организация хранения и поиска данных в СИПС основывается

на принципах, во многом идентичных тем, что некогда были использованы для функционирования библиотечного каталога классического «картотечного» типа. Однако компьютер позволяет хранить колоссальные объемы информации при минимизации объема хранения, осуществлять их гибкий выбор, обеспечивая при этом высокую быстроту и точность поиска [18].

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое методология?
2. Какие уровни методологии вам известны?
3. Перечислите этапы и законы развития технической системы.
3. Что такое наука?
4. Какие значения в современном русском языке имеет термин наука?
5. Что такое ученый?
6. Каково деление наук по отраслям знаний?
7. Что такое техническая наука, предвидение, информация (и каковы ее свойства), факт, гипотеза, знание, познание?
8. Какие составляющие чувственного (эмпирического) познания вы можете назвать?
9. Какие составляющие рационального (теоретического) познания вы можете назвать?
10. Что относится к основным этапам научного исследования?
11. Что такое идея и теория?
12. Какие методы исследований вы знаете?
13. Что такое наблюдение, счет, измерение, сравнение, эксперимент, обобщение, анализ, аналогия, моделирование?
14. Что такое системный анализ, каковы его этапы?
15. Что такое научное исследование и какова его цель?
16. Что такое тема научного исследования?

17. Как можно охарактеризовать свойства научного исследования: актуальность, научная новизна и практическая ценность?
18. Какие этапы научного исследования вам известны?
19. Что такое научный документ?
20. Что относится к первичным и вторичным научным документам?
21. Каковы формы регистрации научной информации?
22. Классификация баз данных информационных ресурсов.

## **2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Теоретические исследования позволяют глубоко проникнуть в суть тех или иных процессов и реализуются в несколько этапов:

- анализ сущности процесса;
- формулирование гипотезы процесса;
- разработка модели;
- проведение исследования, опираясь на полученную модель, как правило, с привлечением компьютера, используя стандартное или оригинальное программное обеспечение;
- анализ полученных решений;
- теоретические умозаключения (выводы).

### **2.1. Цель и задачи теоретического исследования**

Целью теоретического исследования является установление взаимосвязей между выходными и входными параметрами технической системы и выявление некоторой закономерности (аналитической или регрессионной зависимости). Задачами теоретического исследования являются:

- 1) обобщение результатов исследования, нахождение общих закономерностей путем обработки опытных данных;



2) возможность распространения результатов исследования на аналогичные процессы без повторения исследований (речь идет об универсальности предложенных зависимостей);

3) изучение объекта, недоступного для исследования;

4) повышение надежности экспериментального исследования (обоснование параметров и условий наблюдений, точности измерений).

Рассмотрим практический пример формулирования цели и задачи теоретического исследования, опираясь на сформулированную тему научного исследования при доказанной ее актуальности [18]:

- сформулирована тема научного исследования: «Обеспечение точности цилиндрических зубчатых изделий на операциях электроэрозионного вырезания, выполняемых на станках с ЧПУ»;

- доказана актуальность этой темы: «Отсутствуют научно обоснованные рекомендации по проектированию технологии электроэрозионной обработки зубчатых изделий – выбор оборудования, режимов обработки, разработка управляющих программ для станков с ЧПУ, обеспечивающих получение зубчатых изделий заданной точности»;

- сформулирована цель научного исследования: разработать комплекс мероприятий по обеспечению заданной точности цилиндрических зубчатых изделий на операциях электроэрозионного вырезания при высокой производительности обработки;

- сформулированы задачи теоретического исследования:

- 1) разработать методику определения необходимого числа формообразующих точек  $N_1$  торцового эвольвентного профиля зуба зубчатого изделия с внешним и внутренним зубчатым венцом исходя из заданной его точности;

- 2) разработать методику оценки точности формы и взаимного расположения боковых поверхностей зубьев зубчатого изделия на операции электроэрозионного зубовырезания, выполняемой на станке с ЧПУ при различных условиях;

3) получить зависимости для расчета погрешности профиля зуба и отклонения шага зацепления [18].

## **2.2. Общенаучные методы и методы творческого мышления при теоретических исследованиях**

Из широко используемых общенаучных методов теоретических исследований остановимся на двух методах: *расчленение* и *объединение*.

Суть метода расчленения заключается в том, что система взаимосвязи объектов (параметров) расчленяется на простейшие составные части и выделяются значимые и незначимые параметры, а также связи между ними.

Изучается вид взаимосвязи элементов, и осуществляется моделирование. С учетом значимости параметров модель претерпевает упрощения и вводятся некоторые допущения. В области машиностроения часто прибегают к реализации *метода расчленения*.

Суть *метода объединения* заключается в том, что реализуется комплексный подход к изучению объекта. Осуществляется переход от дифференциации к интеграции. Система не дробится, а рассматривается как единое целое. Находят решение, удовлетворяющее условиям решения этой системы.

Из распространенных методов творческого мышления при теоретических исследованиях можно назвать:

- «мозговой штурм»;
- экспертный метод;
- метод «маленьких человечков»;
- теорию решений изобретательских задач;
- морфологический анализ.

При *«мозговом штурме»* группа специалистов (до 10 человек) из различных областей знаний в течение 40–50 минут генерирует идеи для решения поставленной задачи теоретического исследования. Идеи фиксируются, анализируются учеными, которые будут решать поставленную задачу.

При *экспертном методе* используют знания и опыт экспертов в исследуемой области.

При *методе «маленьких человечков»* процессы, происходящие в системе, представляют для наглядности в виде рисунков (схем), что облегчает получение единой картины взаимодействий.

При использовании *теории решений изобретательских задач* реализуется следующий алгоритм:

- анализ исходной ситуации;
- анализ задачи;
- анализ модели задачи;
- разрешение противоречий;
- анализ возможности устранения противоречий;
- развитие полученного решения;
- анализ хода решения.

При *морфологическом анализе* из массива возможных решений выбирается лучшее, соответствующее требованиям технического задания. Решается оптимизационная задача.

### **2.3. Математические методы в исследованиях**

Решение практических задач математическими методами осуществляется путем реализации следующего алгоритма:

- разработка математической модели;
- выбор метода проведения исследования математической модели;
- анализ полученного математического результата.

*Математическая модель* – система формул, функций, уравнений, средствами которых описывается то или иное явление, процесс, объект в целом. При разработке модели нужно учитывать все реально существующие связи факторов и параметров, хотя при этом нельзя забывать о возможности после-

дующего решения математической модели. Следует прибегать к каким-либо упрощениям, допущениям, аппроксимациям.

Для модели физического процесса необходимо определить:

- 1) область или границы применения модели;
- 2) физические ограничения;
- 3) требуемую точность результатов;
- 4) константы и переменные процесса;
- 5) управляемые переменные;
- 6) неуправляемые переменные.

В теоретических исследованиях следует выделить *детерминированные* и *вероятностные* математические методы, которые могут быть статическими и динамическими.

*Детерминированные статические методы* опираются на алгебру и дифференциальные уравнения с независимыми от времени аргументами. *Детерминированные динамические методы* опираются на алгебру, интегральные уравнения, дифференциальные уравнения с частными производными, теорию автоматического управления.

*Вероятностные статические методы* опираются на алгебру, теорию вероятностей и теорию информации, а *вероятностные динамические* – на дифференциальные уравнения, теорию случайных процессов и теорию автоматов.

Кроме этого, не следует забывать о роли численных методов решения задач. Например, в решении нелинейных уравнений – это метод деления отрезка пополам, хорд, касательных, простых итераций; в решении интегралов – метод прямоугольников, трапеций, парабол (Симпсона); в решении дифференциальных уравнений – метод конечных разностей, метод Эйлера и др.; в решении оптимизационных задач – метод перебора, «золотого» сечения, по координатного спуска, градиентного спуска, линейного программирования; в решении аппроксимационных задач – логарифмические, степенные, показательные ряды и многочлены.

## 2.4. Классификация математических моделей

Параметры математических моделей могут иметь различную «математическую природу»: могут быть постоянными величинами, функциями, скалярами, векторами, тензорами различных рангов и т.д. Варианты описания неопределенных параметров:

- 1) детерминированное – каждому параметру модели соответствует конкретное целое, вещественное, комплексное число, либо функция;
- 2) стохастическое – значения отдельных параметров определяются случайными величинами, заданными плотностями вероятностей;
- 3) случайное – значения отдельных параметров модели устанавливаются случайными величинами, полученными в результате обработки экспериментальной выборки данных параметров;
- 4) интервальное – отдельные параметры задаются интервальными величинами от минимального до максимальных значений;
- 5) нечеткое – параметры модели описываются функциями принадлежности нечеткому множеству («много больше пяти», «около нуля» и т.д.).

Разделение моделей на одномерные, двумерные, трехмерные зависит от координат пространства, увеличение размерности усложняет модель и предполагает использование многопроцессорных компьютеров с использованием языков параллельных вычислений.

- 1) в квазистатических процессах скорость изменения внешних воздействий на объект моделирования существенно меньше скорости релаксации;
- 2) в динамических процессах скорость изменения внешних воздействий на объект моделирования велика по сравнению со скоростью релаксации;
- 3) в стационарных процессах значения параметров в фиксированной точке модели не зависят от времени;
- 4) в нестационарных процессах время является существенной независимой переменной.

Методы реализации математических моделей подразделяются на аналитические и алгоритмические.

Всплеск интереса к аналитическим методам связан с появлением пакетов математических вычислений (Derive, MatLab, Mathcad, Maple, Mathematica и др.).

При *численном подходе* совокупность математических соотношений модели заменяется конечноразностным аналогом и последующим приближенным решением алгебраических уравнений. Разработка и использование численных методов является предметом вычислительной математики.

При *имитационном моделировании* на отдельные элементы разбивается сам объект исследования, система математических соотношений заменяется некоторым алгоритмом, моделирующим взаимодействие друг с другом моделей отдельных элементов системы.

## 2.5. Этапы разработки математических моделей

Процесс разработки математических моделей трудоемок, длителен, связан с использованием труда различных специалистов и может быть представлен последовательностью этапов:

- Обследование объекта моделирования и формулировка технического задания на разработку модели (содержательная постановка задачи);
- Концептуальная и математическая постановка задачи;
- Качественный анализ и проверка корректности модели;
- Выбор и обоснование выбора методов решения задачи;
- Поиск решения или разработка алгоритма решения и исследование его свойств, реализация алгоритма в виде программы для ЭВМ;
- Проверка адекватности модели;
- Практическое использование построенной модели.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что относится к основным этапам теоретического исследования?
2. Что является целью теоретического исследования?
3. Какие задачи решаются в рамках теоретического исследования?
4. Какие общенаучные методы и методы творческого мышления при теоретических исследованиях вам известны?
5. Чем отличается метод расчленения от метода объединения?
6. Что такое метод «мозгового штурма»?
7. Что такое экспертный метод?
8. Что такое теория решения изобретательских задач?
9. Какая задача решается в рамках морфологического анализа?
10. Что такое математическая модель?
11. Что необходимо определить для разработки математической модели физического процесса?
12. Что такое модель и моделирование?
13. По каким классификационным признакам можно различать модели?
14. Какие существуют типы моделирования?
15. Назовите характерные особенности аналоговых моделей.
16. Каковы особенности детерминированного и неопределенного моделирования?
17. Перечислите этапы построения математических моделей.

### **3. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ СТОХАСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

### 3.1. Моделирование в условиях неопределенности

Известные закономерности, описывающие объекты в машиностроении, можно условно разделить на две группы:

- *однозначно определенные (детерминированные)*;
- *находящиеся в условиях неопределенности.*

Граница, отделяющая случайное событие от неслучайного, очень размытая. В чистом виде однозначно определенных процессов, по-видимому, нет. При описании достаточно сложных процессов закономерности всегда носят стохастический характер.

Причины появления неопределенности:

- показатели объекта зависят от большого количества факторов, часть которых может быть не известна исследователю;
- при построении модели обычно ограничиваются отбором наиболее существенных (по мнению субъекта или в силу объективных обстоятельств) переменных, что приводит к огрублению модели;
- математические погрешности, возникающие при линеаризации модели или использовании разложения в ряд при ограничении на число членов ряда; ошибки измерений, погрешности при проведении эксперимента и т.д.

В зависимости от полноты описания неопределенность можно разбить на три основные группы: *неизвестность*, *недостоверность* и *неоднозначность*.

*Неизвестность* – это начальная стадия описания неопределенности, при которой информация полностью отсутствует.

*Недостоверность* – это вторая стадия описания неопределенности, которая для различных этапов сбора информации может классифицироваться как неполнота, недостаточность, недоопределенность и неадекватность.

*Неполнота* характеризуется тем, что собрана не вся возможная информация; *недостаточность* – собрана не вся необходимая информация. *Недоопределенность* – для некоторых элементов определены не их точные описа-



ния, а лишь множества, которым эти описания принадлежат; *неадекватность* – описание, не всегда удовлетворяющее целям исследования.

*Неоднозначность* – это конечная (по полноте возможного описания) степень неопределенности, когда вся возможная информация собрана, но полностью необходимое описание не получилось.

Математически неопределенность может быть описана стохастически, статистически, с позиций теории нечетких множеств, а также интервально.

*Стохастическое* описание используется тогда, когда неопределенные параметры имеют вероятностный (случайный) характер, при этом необходимо, чтобы был определен закон распределения таких случайных параметров.

*Статистическое* описание является, по существу, частным случаем стохастического описания. Эту форму описания применяют, когда заданы только выборочные оценки каких-либо характеристик случайной величины.

При описании с позиций *нечетких множеств* неопределенный параметр задается некоторым множеством возможных его значений, характеризующих принадлежность (с помощью функции принадлежности) объекту. Функция принадлежности может принимать значение от 1 (*полная принадлежность*) до 0 (*полная непринадлежность*).

Интервальное описание можно использовать, когда неопределенные параметры заданы только диапазонами возможных значений (верхней и нижней границами), причем параметр может принимать любое значение внутри интервала и ему нельзя приписать никакой вероятностной меры.

### **3.2. Функция и плотность распределения случайной величины**

*Опыт* – это осуществление какого-нибудь комплекса условий, который может быть воспроизведен много раз.

Под *событием* понимается результат опыта или наблюдения. События могут быть *элементарными* (неразложимыми) и *составными* (разложимыми).

*Элементарное событие* происходит в результате единичного опыта. *Составное событие* – это совокупность элементарных событий.

*Пример 3.1.* Игральный кубик подбрасывается 2 раза. Пусть составное событие определено следующим образом: «сумма выпавших цифр равна 6». Тогда элементарными будут события «5+1», «4+2», «3+3», «2+4» и «1+5». Любые другие сочетания не относятся к рассматриваемому составному событию.

*Генеральной совокупностью* называют совокупность событий, которые могут быть реализованы в результате бесконечного числа однотипных опытов. *Выборочной совокупностью* или *выборкой* называют совокупность случайно отобранных событий из генеральной совокупности.

*Объемом совокупности* называют число событий  $N$  этой совокупности.

*Случайной величиной* называют переменную величину, которая в результате опыта может принимать различные значения. Случайные величины обычно обозначают большими буквами, например,  $X$ . Значения случайной величины, которые она принимает в результате опыта, обозначают малыми буквами  $x, x, \dots, x_n$ . При массовых испытаниях каждое из возможных значений случайной величины  $x, x, \dots, x_n$  может встретиться  $m_1, m_2, \dots, m_n$  раз. Эти числа называют *частотами*. Весь набор значений случайной величины образует *генеральную совокупность*  $N_x$ . Отсеянные из генеральной совокупности  $N_x$  значения грубых ошибок образуют *выборку* объемом  $N$ . Если всего было проведено  $N_x$  опытов, то в результате выборки получаем

$$\sum_{j=1}^n m_j = N,$$

и отношение  $m_i/N$  называют *частотой* или *относительной частотой*.

*Вероятность* некоторого события – это мера его «благоприятствия». События называются *равновозможными*, если мера их «благоприятствия» одинакова. В этом случае *частотой*  $W$  события  $A$ ,  $W(A)$ , определяется формулой

$$W(A) = n/N, \quad (3.1)$$

Вероятность  $p(A)$  произвольного события  $A$  изменяется от 0 до 1. При этом нулевая вероятность соответствует *невозможному событию* (которое никогда произойти не может), а единичная – *достоверному событию* (которое обязательно произойдет). При больших выборках вероятность события равна его *частоте*:

$$p(A) \approx W(A). \quad (3.2)$$

Для *независимых* событий вероятность произведения равна произведению их вероятностей (*теорема умножения*)

$$p\left(\prod_{i=1}^n A_i\right) = \prod_{i=1}^n p(A_i). \quad (3.3)$$

*Пример 3.2.* В литейном цехе появление брака в отливках связано с различными элементами технологического процесса: из-за низкого качества литейной формы (песчаные раковины, обвалы, ужимины и др.); вследствие нарушения технологического процесса плавки и внепечной обработки металла (неметаллические включения, газовые раковины, пористость и др.); из-за нарушения режима заливки формы (шлаковые включения, корольки, спай и др.) каждый из указанных элементов процесса независимо от другого может

быть причиной окончательного брака в отливке. Пусть вероятность получения качественной отливки без дефектов «по вине» формы  $p(\phi)=0,98$ ; по вине металла  $p(m)=0,93$ ; по вине заливки  $p(z)=0,99$ . Необходимо оценить надежность технологического процесса в целом, т.е. определить вероятность получения бездефектной отливки  $p(\phi m z)$ .

Решение. По формуле (3.3)

$$p(\phi m z) = p(\phi) \cdot p(m) \cdot p(z) = 0,98 \cdot 0,93 \cdot 0,99 = 0,90.$$

Для *несовместных событий* (они не могут наступить одновременно) справедлива *теорема сложения вероятностей*:

$$p(A_1 + A_2 + \dots + A_n) = p(A_1) + p(A_2) + \dots + p(A_n). \quad (3.4)$$

Из этой теоремы вытекают два следствия:

1. Для полной группы несовместных событий сумма их вероятностей равна единице:

$$\sum_{i=1}^n p(A_i) = 1. \quad (3.5)$$

2. Сумма вероятностей противоположных событий равна единице:

$$p(A) + p(\bar{A}) = 1. \quad (3.6)$$

*Пример 3.3.* В партии поковок доля брака составляет 3 % ( $p(A)=0,03$ ). Здесь событие  $A$  состоит в выборе дефектной детали. Противоположное ему событие, состоящее в выборе годной детали, будет  $\bar{A}$ . По формуле (3.6) находим  $p(\bar{A}) = 1 - p(A) = 1 - 0,03 = 0,97$ , т.е. партия поковок содержит 97 % годных деталей.

*Законом распределения* случайной величины называют любое правило (таблицу, функцию), позволяющее находить вероятности всевозможных событий.

Случайные величины бывают *дискретными* и *непрерывными*.

*Дискретными* случайными величинами называют такие, которые могут принимать конечное и счетное множество возможных значений.

*Непрерывными* случайными величинами называют такие, которые в некотором интервале могут принимать любое значение.

Число бракованных поковок в различных выборках из генеральной совокупности есть дискретная случайная величина, а размер этих изделий – непрерывная случайная величина.

Всякую непрерывную случайную величину можно задать в виде дискретной, если все возможные ее значения разбить на интервалы и задать вероятности появления этих интервалов (из-за ограниченности измерительных средств все замеры непрерывных величин задаются в дискретном виде). Случайные величины характеризуются функциями распределения вероятностей.

Распределение случайной величины  $X$  называется *интегральной функцией распределения*  $F(x_i)$  (рисунок 3.1). Она определяет вероятность того, что случайная величина примет значения, не превосходящие  $x_i$ , т.е. попадет в интервал  $(-\infty, x_i)$ .

$$F(x_i) = p(X \prec x_i)$$

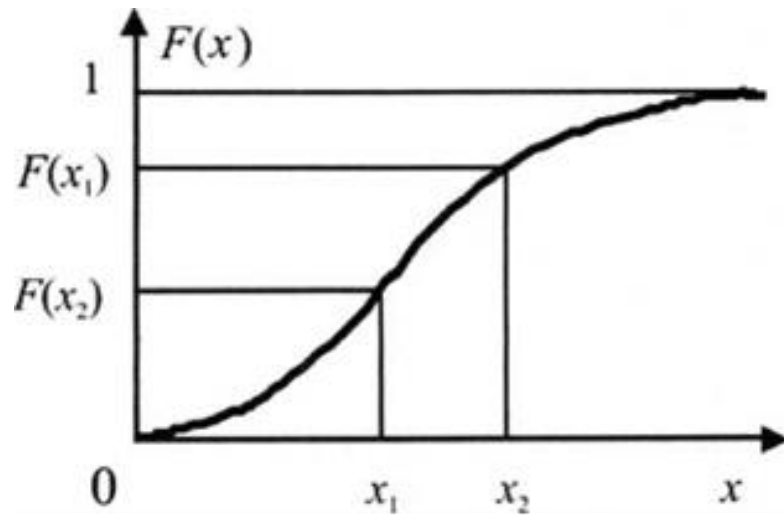


Рисунок 3.1. Интегральная функция распределения

Задание  $F(x_i)$  и определяет закон распределения случайной величины  $X$ . В большинстве практически важных случаев распределение случайных величин может быть задано в другой форме с помощью введения функции плотности вероятностей  $f(x)$  (дифференциальной функции распределения). Характерной особенностью случайной величины является то, что заранее неизвестно, какое из значений она примет. Возможность принятия случайной величиной  $X$  значения из интервала  $(x_1, x_2)$  количественно оценивается вероятностью

$$p(x_1 < X \leq x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx = 1, \quad (3.7)$$

где  $p(x_1 < X \leq x_2)$  – вероятность указанного события  $(x_1 < X \leq x_2)$ ;  $f(x)$  – плотность распределения случайной величины;  $x_2 = x_1 + dx$ .

Плотность вероятности является важнейшей характеристикой, задающей распределение случайной величины, Плотность удовлетворяет двум условиям: она неотрицательна, и интеграл от нее в полных пределах изменения аргумента  $x$  равен единице:

$$f(x) \geq 0; \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1. \quad (3.8)$$

Функция распределения  $F(x)$  выражается через плотность  $f(x)$ :

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx. \quad (3.9)$$

С другой стороны, если плотность  $f(x)$  непрерывна в точке  $x$ , то ее значение в этой точке равно производной от функции  $F(x)$ :

$$f(x) = F'(x). \quad (3.10)$$

Функция распределения  $F(x)$  является первообразной для плотности  $f(x)$ , поэтому

$$p(x_1 < x < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx = F(x) = F(x_2) - F(x_1), \quad (3.11)$$

$f(x)$  называют также *дифференциальной функцией распределения*.

Свойства функции распределения: она неотрицательна, возрастающая и равна 0 и 1 при значении аргумента  $-\infty$  и  $\infty$ :

$$F(x) \geq 0; F(x_1) < F(x_2) \text{ при } x_1 < x_2; F(-\infty) = 0; F(\infty) = 1.$$

График плотности распределения  $f(x)$  называется *кривой распределения случайной величины* (рисунок 3.2). Исходя из геометрической интерпретации интеграла как площади соответствующей криволинейной трапеции заключаем, что для произвольного  $-\infty < x_0 < +\infty$  число  $F(x_0)$  равно площади под кривой распределения, лежащей левее прямой  $X = x_0$ . Аналогично интерпретируется вероятность  $p(x_1 < x \leq x_2)$ .

Случайная величина  $x$ , для которой существует плотность распределения  $f(x)$ , называется *непрерывной*.

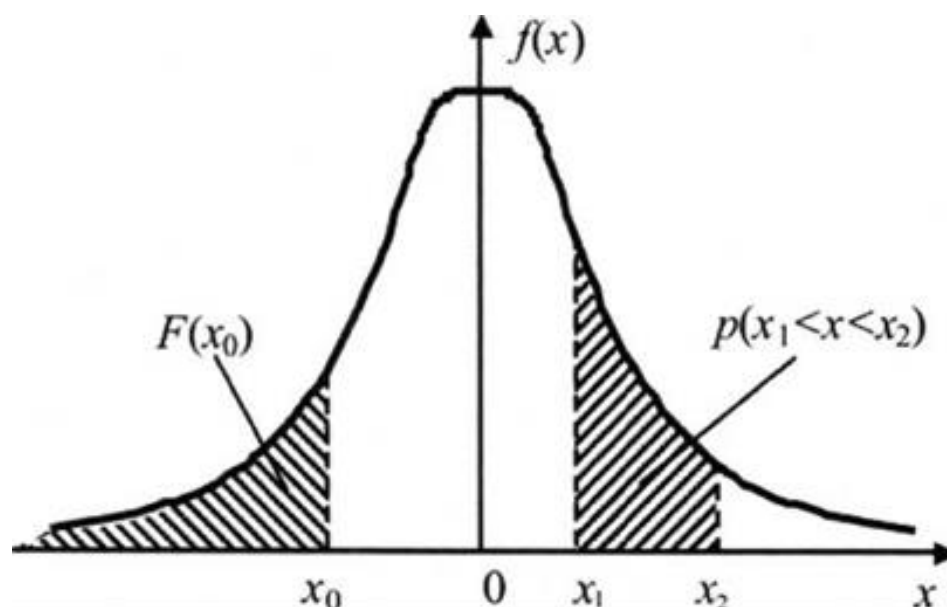


Рисунок 3.2. Погрешность случайной величины

Если под случайной величиной  $x$  понимать продолжительность безотказной работы объекта, то произведение  $f(x)dx$  есть вероятность отказа объекта в интервале времени  $(x_1, x_2)$ . Значение функции распределения  $F(x)$  равно вероятности отказа объекта до момента  $x$ .

В теории надежности часто употребляют такое понятие, как *вероятность безотказной работы*  $p(x)$ , которое является дополнительным понятием к функции распределения  $F(x)$ . Значение вероятности безотказной работы в точке  $x$  равно вероятности того, что случайная величина  $X$  превысит  $x$ , т. е. изделие будет работать безотказно в течение времени  $x$ :

$$p(x) = 1 - F(x) = p\{X > x\}$$

Функция  $p(x)$  называется также *функцией надежности*. Примерные графики функции распределения  $F(x)$  и функции надежности  $p(x)$  изображены на рисунке 3.3.



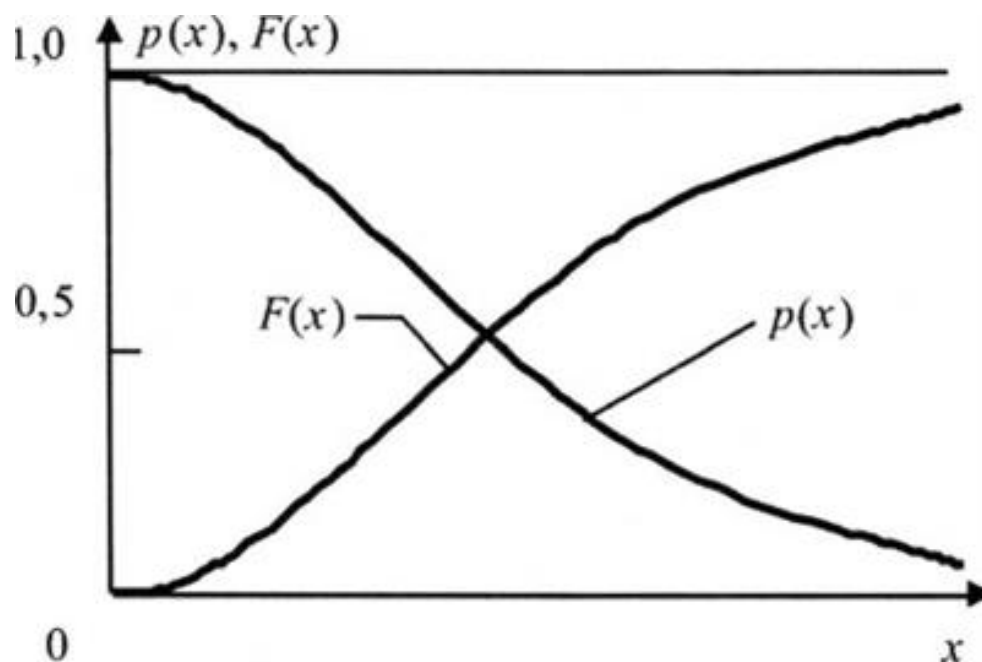


Рисунок 3.3. Графики функции распределения  $F(x)$

### 3.3. Меры положения и рассеяния кривой распределения

Кривая распределения плотностей вероятностей случайной величины характеризуется своим положением на оси абсцисс и рассеиванием случайной величины. Для оценки положения и рассеяния кривой распределения вводятся соответствующие критерии или *меры*.

К *мерам положения* относятся: *мода, математическое ожидание и медиана* случайной величины.

К *мерам рассеяния* относятся: *дисперсия, стандартное отклонение и размах*.

*Модой распределения ( $M_0$ )* называется наиболее вероятное значение случайной величины  $X$ . Плотность вероятности  $J(x)$  принимает максимальное значение в окрестности моды. Функция распределения плотности вероятностей может иметь одно или несколько максимальных значений в разных местах области (рисунок 3.4).

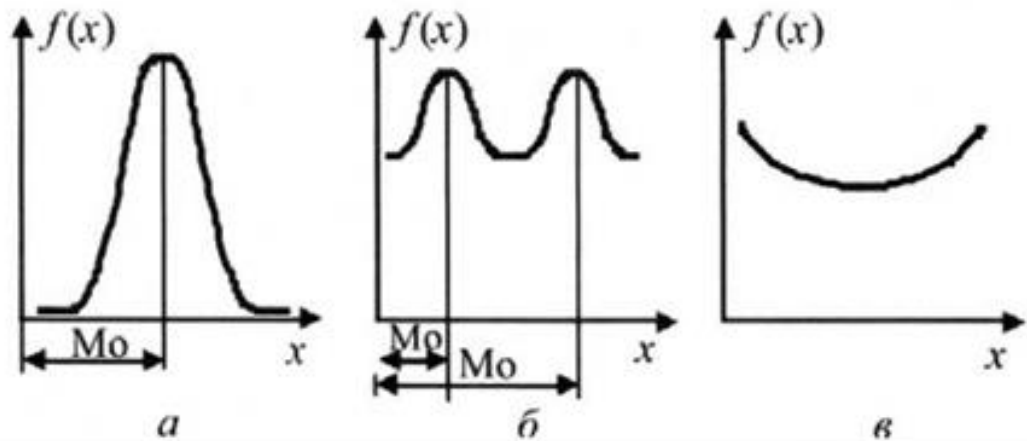


Рисунок 3.4. Кривые распределения случайной величины  $X$ :  
 $a$  - одномодальная;  $b$  - двумодальная;  $в$  - антимодальная

*Математическим ожиданием* дискретной случайной величины называется сумма произведений всех возможных значений случайной величины на вероятности этих значений:

$$M_x = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i . \quad (3.12)$$

*Математическое ожидание* случайной величины  $X$ , имеющей плотность распределения  $f(x)$ , вычисляется по формуле

$$M_x = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx . \quad (3.13)$$

Статистической оценкой математического ожидания является среднее арифметическое значение случайной величины

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i \cdot m_i , \quad (3.14)$$

где  $N$  - количество значений  $x_i$ ;  $m_i$  - частота появления результата  $x_i$ .

Математическое ожидание (среднее арифметическое значение)

случайной величины называют часто *центром рассеяния* или *центром группирования* случайной величины. Математическое ожидание является оценкой истинного значения измеряемой величины.

*Пример 3.4.* Найти математическое ожидание и моду случайной величины, заданной таблицей значений:

$X$	3	5	2
$p$	0,1	0,6	0,3

*Решение.*  $M_x = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i = 3 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,6 + 2 \cdot 0,3 = 3,9$ .  $M_0 = 5$ .

*Медианой случайной величины* ( $M_e$ ) называется такое ее значение  $x$ , для которого

$$p(x < M_e) \approx p(x > M_e), \quad (3.15)$$

т. е. вероятность появления случайной величины меньшей, чем медиана, или большей, чем медиана, одинакова.

*Геометрическая медиана* – это абсцисса точки, в которой площадь, ограниченная кривой распределения, делится пополам (рисунок 3.5):

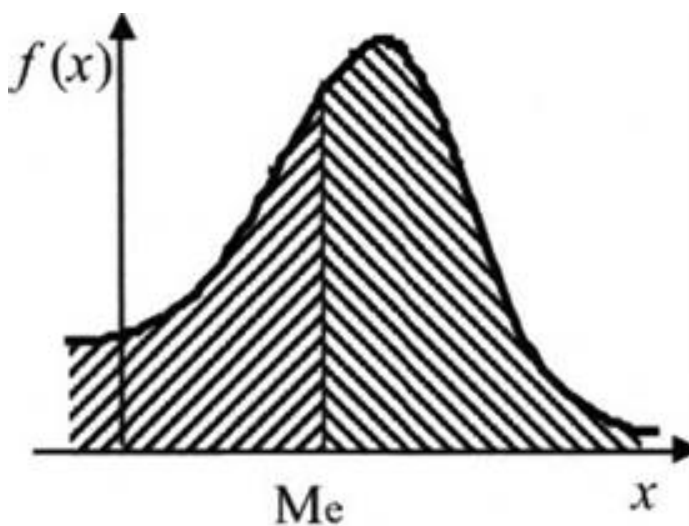


Рисунок 3.5. Геометрическая медиана

$$\int_{-\infty}^{M_e} f(x) dx = \int_{M_e}^{\infty} f(x) dx .$$

Мерой рассеяния случайной величины  $X$  около ее среднего значения  $\bar{x}$  служит *стандартное* (или *среднее квадратичное*) *отклонение*  $\sigma$ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2} . \quad (3.16)$$

Для непрерывной случайной величины  $\sigma$  определяется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2 \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx} . \quad (3.17)$$

Другая мера рассеяния – *дисперсия* (дисперсия и означает рассеивание) характеризует разброс значений случайной величины относительно ее математического ожидания. Дисперсия увеличивается с увеличением рассеяния результатов наблюдения. Дисперсия определяется по формуле

$$D_x = \sigma^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2 p_i , \quad (3.18)$$

где  $x_i$  – дискретная случайная величина, и по формуле

$$D_x = M(x - M_x)^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (x_i - M_x)^2 \cdot f(x) dx , \quad (3.19)$$

где  $x_i$  – непрерывная случайная величина.

Свойства дисперсии:

- $D_x \geq 0$ ;
- $D_x \cdot C = 0$  для  $C = const$  (дисперсия неслучайной величины равна нулю);
- $D(CX) = C^2 \cdot D_x$  - неслучайную величину можно выносить за знак

дисперсии, возведя ее в квадрат;

- $D_x = M_x(X^2) - (M_x)^2$  - дисперсия равна математическому ожиданию квадрата случайной величины минус квадрат ее математического ожидания;

- $D(X+Y) = D_x + D_y$ , если  $X$  и  $Y$  - независимые случайные величины.

Последнее свойство рассмотрим более подробно на примере двух случайных величин  $X$  и  $Y$ . По определению

$$D(X + Y) = M[(X + Y) - M(X + Y)]^2.$$

После раскрытия квадратных скобок и объединения каждой случайной величины со своим математическим ожиданием получим

$$D(X + Y) = M(X - M_x)^2 + M(Y - M_y)^2 + 2M[(X - M_x)(Y - M_y)],$$

откуда

$$D(X + Y) = D_x + D_y + 2\text{cov}(XY)$$

где  $\text{cov}(XY) = M[(X - M_x)(Y - M_y)] = M(XY) - M_x M_y$  - ковариация.

Она характеризует связь между случайными величинами  $X$  и  $Y$ . Для независимых случайных величин ковариация равна нулю. Ковариация является неудобной характеристикой, так как по ее величине трудно судить о степени (тесноте) связи. Поэтому была введена другая величина – коэффициент корреляции, вычисляемый по формуле

$$\rho(XY) = \frac{\text{cov}(XY)}{\sqrt{D_x D_y}}. \quad (3.20)$$

Коэффициент корреляции меняется в пределах от -1 до +1 и является характеристикой тесноты линейной связи между двумя случайными величинами. Если  $x$  и  $y$  независимы, то  $\rho(XY) = 0$ . Если абсолютное значение  $\rho(XY)$  окажется больше 1, то совершенно ясно, что произошла ошибка и необходимо пересчитать результат. В случае сильной положительной корреляции достигается значение, близкое к +1, а при сильной отрицательной корреляции достигается значение, близкое к -1. Таким образом, когда  $|\rho(XY)|$  близок к 1, это

указывает на сильную корреляцию между  $X$  и  $Y$ , а когда  $|\rho(XY)|$  близок к 0 – на слабую корреляцию.

*Размах* случайной величины  $R$  определяется как разность между наибольшим и наименьшим значениями случайной величины:

$$R = x_{\max} - x_{\min} . \quad (3.21)$$

### 3.4. Теоретические законы распределения

#### 3.4.1. Закон нормального распределения (закон Гаусса)

Этот закон является одним из наиболее распространенных законов распределения погрешностей. Уравнение кривой нормального распределения имеет следующий вид:

$$y = f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x_i - \bar{x})^2 / 2\sigma^2} . \quad (3.22)$$

Функция распределения имеет вид

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-(x_i - \bar{x})^2 / 2\sigma^2} dx . \quad (3.23)$$

График плотности нормального распределения называется нормальной кривой или кривой Гаусса (рисунок 3.6). Отметим смысл характеристик этой кривой:

- $\bar{x}$  - центр группирования, характеризует распределение размеров;
- $\sigma$  - характеризует кучность распределения размеров (погрешностей) около  $\bar{x}$  ; чем меньше  $\sigma$ , тем кучнее распределяются размеры около  $\bar{x}$  (рисунок 3.7).

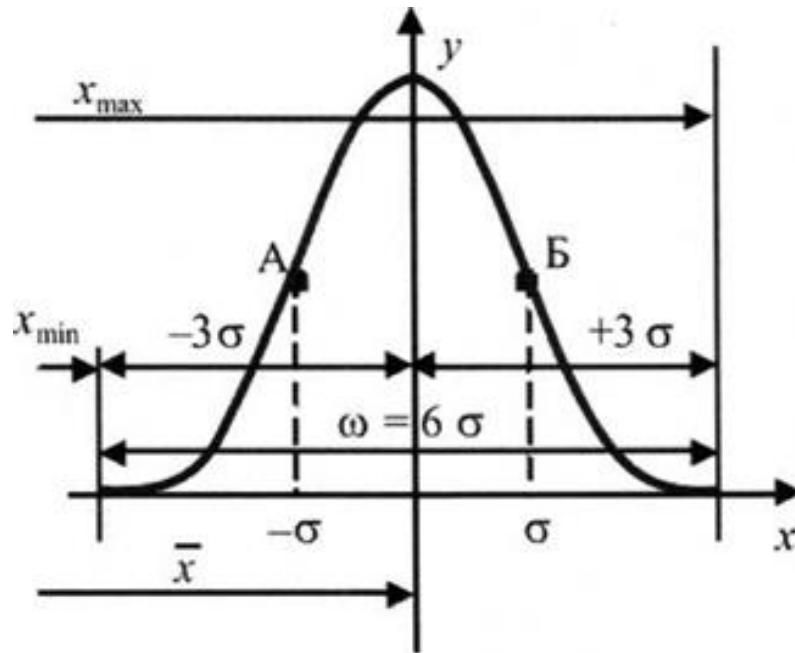


Рисунок 3.6. Распределение Гаусса

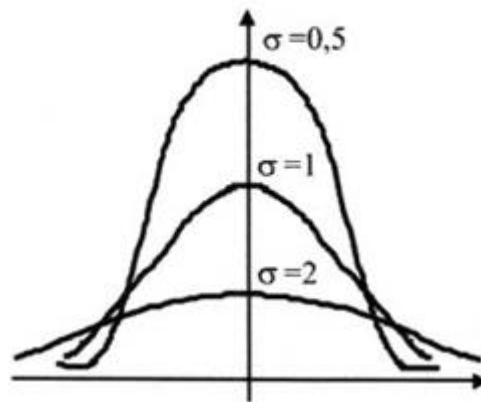


Рисунок 3.7. Нормальное распределение случайных погрешностей при различных значениях  $\sigma$

Кривая Гаусса имеет следующие особенности.

1. Кривая симметрична относительно  $\bar{x}$ .
2. При  $x = \bar{x}$  кривая имеет максимум:

$$y_{\max} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \approx \frac{0,4}{\sigma}.$$

3. На расстоянии  $\pm\sigma$  от вершины кривая имеет две точки перегиба  $A$  и  $B$ , координаты которых

$$y_A = y_B = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi} e} \approx 0,6y_{\max} \approx \frac{0,24}{\sigma}.$$

4. На расстоянии  $\pm 3\sigma$  от вершины кривой ее ветви так близки к оси абсцисс, что в пределах  $\pm 3\sigma$  99,7 % всей площади ограничивается кривой. Практически принято считать, что на расстоянии  $\pm 3\sigma$  от вершины кривой ее ветви пересекаются с осью абсцисс, и в этих пределах заключена вся площадь кривой, т.е. 100,0 %. Погрешность в этом случае составляет 0,3 %, что допустимо при решении многих задач производства.

5.  $\sigma$  - это мера рассеяния, мера точности. На основании п.4 справедливо утверждение, что поле рассеяния  $\omega \approx 6\sigma$ .

С использованием закона Гаусса вероятный процент брака вычисляется следующим образом. Считаем, что все детали партии имеют действительные размеры в пределах поля рассеяния

$$6\sigma = x_{\max} - x_{\min},$$

где  $x_{\max}$ ,  $x_{\min}$  – максимальное и минимальное значения параметра (размера). При этом площадь, ограниченная кривой нормального распределения и осью абсцисс, равна единице и определяет 100% заготовок партии. Площадь заштрихованных на рисунке 3.8 участков представляет собой количество деталей, выходящих по своим размерам за пределы допуска.



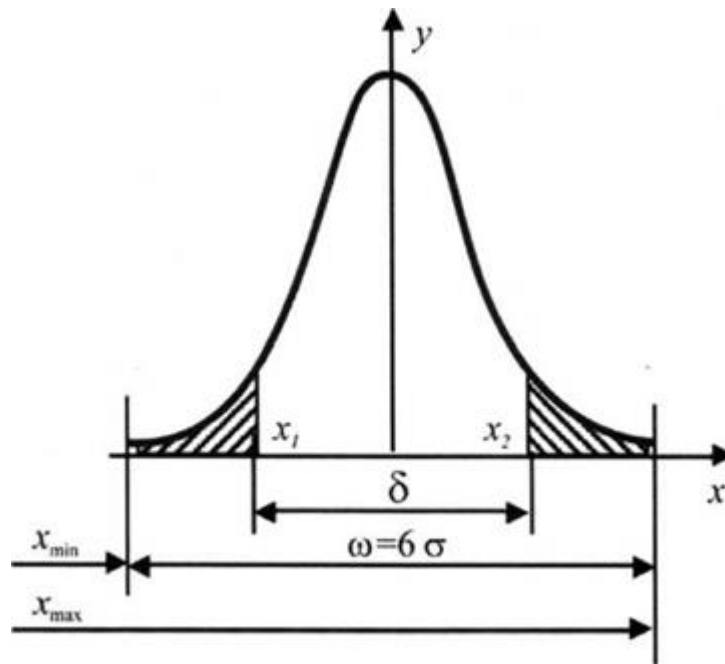


Рисунок 3.8. К определению количества годных деталей

Для определения количества годных деталей необходимо найти площадь, ограниченную кривой и осью абсцисс на длине, равной допуску  $\delta$ . При симметричном расположении поля рассеяния относительно поля допуска следует найти значение интервала, определяющего половину площади, ограниченной кривой Гаусса и абсциссой  $x_1$  ( $x_2$ ).

Функция распределения для нормального закона имеет вид (рисунок 3.9)

$$F(x) = \int_{-\infty}^x y \, dx = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-x^2/2\sigma^2} \, dx. \quad (3.24)$$

Для случая, когда  $\bar{x} = 0$ ,  $\sigma = 1$ , распределение называют стандартным и функция распределения имеет следующий вид:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-x^2/2\sigma^2} \, dx. \quad (3.25)$$

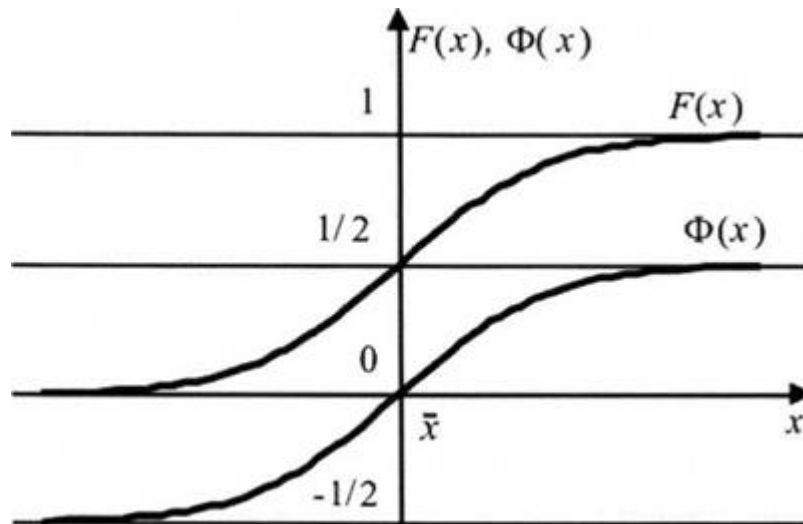


Рисунок 3.9. Функция распределения  $F(x)$   
и функция Лапласа  $\Phi(x)$

Таким образом, если случайная величина  $X$  следует закону нормального распределения, то вероятность появления случайной погрешности определяется площадью, ограниченной кривой  $f(x)$  и ее частью и осью абсцисс:

$$p\{x_1 < x < x_2\} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} e^{-x^2/2\sigma^2} dx. \quad (3.26)$$

Подынтегральное значение есть элемент вероятности, равный площади прямоугольника с основанием  $dx$  и абсциссами  $x_1$  и  $x_2$ , называемыми *квантилями*.

Произведем замену переменной:  $t = x/\sigma$ ,  $dx = \sigma \cdot dt$ :

$$p\{x_1 < x < x_2\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t_1}^{t_2} e^{-t^2/2} dt. \quad (3.27)$$

Представим правую часть в виде суммы двух интегралов:

$$p\{x_1 < x < x_2\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t_1}^0 e^{-t^2/2} dt + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{t_2} e^{-t^2/2} dt.$$

Интеграл вида

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-t^2/2} dt \quad (3.28)$$

носит название *нормальной функции Лапласа*. Значения этого интеграла сведены в таблицу. Таким образом, указанная вероятность (3.28) сводится к разности нормальных функций Лапласа:

$$p\{x_1 < x < x_2\} = \Phi(t_2) - \Phi(t_1). \quad (3.29)$$

Расчет количества годных деталей сводится к установлению величины  $t$  и определению  $\Phi(t)$  по таблице с последующим пересчетом полученных величин в проценты или в число штук изделий.

В общем случае, когда  $\bar{x} \neq 0$ , имеем следующую вероятность появления случайных погрешностей:

$$p\{x_1 \leq x \leq x_2\} = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx = \Phi\left(\frac{x_2 - M_x}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{x_1 - M_x}{\sigma}\right). \quad (3.30)$$

Отметим свойства функции Лапласа:  $\Phi(0) = 0$ ;  $\Phi(-x) = -\Phi(x)$  (функция нечетная);  $\Phi(\infty) = 1/2$ . Из рисунка 3.9 видно, что кривые  $F(x)$  и  $\Phi(x)$  эквидистантны.

*Пример 3.5.* На металлургическом заводе проведено контрольное определение твердости по Шору рабочего слоя большой партии однотипных листопркатных валков. Установлено, что твердость (случайная величина  $x$ ) распределена нормально с математическим ожиданием 60 ед. по Шору и средним квадратичным отклонением 5 ед. по Шору. Необходимо найти вероятность того, что значение твердости валков заключено в пределах 57-65 ед. Шора, оговоренных ГОСТом.

*Решение.* Используем формулу (3.29). По условию задачи  $x_1 = 57$ ;  $x_2 = 65$ ;  $M_x = 60$ ;  $\sigma = 5$ , следовательно,

$$p\{57 \leq x \leq 65\} = \Phi\left(\frac{65 - 60}{5}\right) - \Phi\left(\frac{57 - 60}{5}\right) = \Phi(1,0) - \Phi(-0,6) = \Phi(1,0) + \Phi(0,6).$$

По таблице функции Лапласа находим:  $\Phi(1,0) = 0,3413$ ;

$\Phi(0,6) = 0,2257$ . Отсюда искомая вероятность

$$p\{57 \leq x \leq 65\} = 0,3413 + 0,2257 = 0,567.$$

Во многих практических задачах требуется вычислить вероятность того, что абсолютное отклонение  $\Delta X$  нормально распределенной случайной величины  $X$  от математического ожидания меньше заданного положительного числа  $\varepsilon$ , т.е. требуется найти вероятность выполнения неравенства

$$\Delta X = |X - M_x| < \varepsilon. \quad (3.31)$$

На основании нечетности функции Лапласа справедливо соотношение

$$p(\Delta X \leq \varepsilon) = p(|X - M_x| \leq \varepsilon) = \Phi\left(\frac{\varepsilon}{\sigma_x}\right) - \Phi\left(-\frac{\varepsilon}{\sigma_x}\right) = 2\Phi\left(\frac{\varepsilon}{\sigma_x}\right). \quad (3.32)$$

Аналогично для нормированной случайной величины

$$p(\Delta X_0 \leq \varepsilon) = p(-\varepsilon \leq X_0 \leq \varepsilon) = \Phi(\varepsilon) - \Phi(-\varepsilon) = 2\Phi(\varepsilon). \quad (3.33)$$

Обозначив  $\varepsilon = \sigma_x t$ , получим  $p(\Delta X < \sigma_x t) = 2\Phi(t)$ .

Если  $t = 3$  и соответственно  $\sigma_x t = 3\sigma_x$ , то

$$p(\Delta X_0 \leq 3\sigma_x) = 2\Phi(3) = 2 \cdot 0,49865 = 0,9973$$

Вероятность того, что абсолютное отклонение будет меньше утроенного среднеквадратичного отклонения, равна 0,9973, и большие отклонения практически невозможны. В этом состоит «правило трех сигм»: при нормальном распределении случайной величины абсолютная величина ее отклонения от математического ожидания не превышает утроенного среднего квадратичного отклонения.

Это правило применяют для проверки нормальности распределения изучаемой величины и для выявления грубых ошибок (промахов) в экспериментальных данных.

*Пример 3.6.* Величина отбеленного рабочего слоя валов после чистовой обработки является нормально распределенной случайной величиной со средним квадратичным отклонением  $\sigma_x = 1$  мм. Необходимо определить вероятность брака валов по причине малого и большого отбела, если бракуются ва-

лы, отбел которых отклоняется от требований технических условий более чем на 2 мм.

*Решение.* Используем формулу (3.32). По условию задачи  $\varepsilon = 2$  мм;  $\sigma_x = 1$  мм, следовательно, вероятность получения годной продукции

$$p(\Delta X \leq 2) = 2\Phi(2/1) = 2\Phi(2) = 0,9544.$$

Вероятность получения брака равна вероятности противоположного события [18].

$$p(\Delta X \geq 2) = 1 - 0,9544 \approx 0,05.$$

## 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 4.1. Методы экспериментальных исследований

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 [4, 9, 10].

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 эксперименте 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 *натурного* эксперимента.

*Натурный* эксперимент проводится в естественных условиях и на реальных объектах. Этот вид эксперимента часто используется в процессе натуральных 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 [4, 8]. Основной научной проблемой натурного эксперимента является обеспечение достаточного соответствия (адекватности) условий эксперимента реальной ситуации, в которой затем будет работать создаваемый объект.

Поэтому центральными *задачами натурного 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 [4, 12].

*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 (продукции, 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 ма-

тематики 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 приближенных, в виде последовательности арифметических операций, то есть алгоритма решения. Теория и практика вычислительного эксперимента создава-

лась 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 значениях 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; появятся предложения по созданию упрощенных инженерных способов решения и формул, дающих возможность получить необходимую информацию более простым способом.

В случае, когда проведение натуральных 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 [4].

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.

## **4.2. 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 необходимо 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 приступать 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-программы; 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 [4, 11].

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 [4, 10].

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 устанавливаются и анализируются 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 целях 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. Теоретической 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. [3].

#### **4.3. 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 меру.

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, образованная 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 нормированные метрологические свойства;

- 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 проградуированы в узаконенных единицах, и их метрологические свойства должны соответствовать нормам [4, 13].

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. [4, 14].

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 Федеральное агентство по метрологии, стандартизации и техническому регулированию России (Росстандарт 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: осособточные, 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 [4].

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

$$\Delta = A_{и} - A_{о} \approx A_{и} - A_{д}$$

– относительная погрешность

$$\delta = \frac{\Delta}{X}$$

где  $A_{и}$  – показания прибора;  $A_{д}$  – 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 статических 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*. *Интервалом 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 [4, 15, 16]. 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, однообразие средств измерения. Поэтому без успешного развития метрологии невозможен прогресс в развитии науки и, наоборот, без успешного развития науки невозможен прогресс в метрологии.

#### **4.4. 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 подготовки 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 отли-

чающихся 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 [4].

#### **4.5. 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 [4].

### **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?

## **Глава 5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **5.1. Основы теории случайных ошибок и методов оценки случайных погрешностей в измерениях**

Исследователь должен одновременно с производством опытов и измерений проводить предварительную, а затем и окончательную обработку результатов измерений, их анализ, что позволяет корректировать эксперимент, контролировать и улучшать методику в ходе опыта.

Анализ случайных погрешностей основывается на теории случайных ошибок. Он даёт возможность с определенной гарантией вычислить действительное значение измеренной величины и оценить возможные ошибки.

Основу теории случайных ошибок составляют следующие предположения:

- большие погрешности встречаются реже, чем малые, так как вероятность появления погрешности уменьшается с ростом ее величины;
- при большом числе измерений случайные погрешности одинаковой величины, но разного знака встречаются одинаково часто;
- при бесконечно большом числе измерений истинное значение измеряемой величины равно среднеарифметическому значению всех результатов из-

мерений, а появление того или иного результата измерения как случайного события описывается нормальным законом распределения.

Совокупность измерений может быть *генеральной* и *выборочной*.

*Генеральная совокупность* – это все множество возможных значений изменений  $x_i$  или возможных значений погрешности  $\Delta x_i$ .

При *выборочной совокупности* число измерений  $n$  ограничено и в каждом случае строго определяется. Обычно считают, что если  $n > 30$ , то среднее значение совокупности измерений  $x$  достаточно точно приближается к истинному значению.

Теория случайных ошибок позволяет оценить точность и надежность измерения при данном количестве замеров или определить минимальное количество замеров, гарантирующее требуемую точность и надежность измерений. Также необходимо исключить возможность появления грубых ошибок и определить достоверность полученных результатов [4].

## 5.2. Интервальная оценка измерений с помощью доверительной вероятности

Для нормального закона распределения общей оценочной характеристикой измерения и большой выборки являются дисперсия  $D$  и коэффициент вариации  $k_g$ :

$$D = \sigma^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}; k_B = \sigma/\bar{x}, \quad (5.1)$$

где  $\sigma$  - среднее квадратичное отклонение.

*Коэффициент вариации* характеризует изменчивость измерений, а *дисперсия* их однородность. Чем выше  $k_g$ , тем больше изменчивость измерений относительно средних значений.  $k_g$  оценивает также разброс при оценке нескольких выборок. Чем выше  $D$ , тем больше разброс измерений.

*Доверительный интервал измерения* - это интервал значений  $x_i$ , в который попадает истинное значение  $x_d$  измеряемой величины с заданной вероятностью. Он характеризует точность измерения данной выборки.

*Доверительная вероятность* или достоверность измерения - это вероятность, что истинное значение измеряемой величины попадает в данный доверительный интервал, то есть в зону  $a \leq x_d \leq b$ . Эта величина характеризует достоверность измерений и определяется в процентах или в долях единицы. Доверительная вероятность  $p_d$  описывается выражением

$$p_d = p[a \leq x_d \leq b] = \frac{1}{2} \left[ \frac{\varphi(b - \bar{x})}{\sigma} - \frac{\varphi(a - \bar{x})}{\sigma} \right],$$

где  $\varphi(t)$  - интегральная функция Лапласа, численные значения которой приведены в таблице 5.1.

$$\varphi(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-t^2/2} dt.$$

Аргументом этой функции является отношение  $\mu$  к среднеквадратичному отклонению  $\sigma$ , то есть

$$t = \mu / \sigma, \quad (5.2)$$

где  $t$  - гарантийный коэффициент.

$$\mu = b - \bar{x}; \quad \mu = -(a - \bar{x}).$$

Если на основе определенных данных установлена доверительная вероятность  $p_d$ , чаще её принимают равной 0,90; 0,95; 0,9973, то устанавливается точность измерений или доверительный интервал  $2\mu$  на основе соотношения

$$p_d = \varphi(\mu / \sigma).$$

Тогда половина доверительного интервала

$$\mu = \sigma \arg \varphi(p_d) = \sigma t, \quad (5.3)$$

где  $\arg \varphi(p_d)$  - аргумент функции Лапласа, а при  $n < 30$  - функции Стьюдента (табл. 5.2).

Таблица 5.1. Интегральная функция Лапласа

$t$	$p_d$	$t$	$p_d$	$t$	$p_d$
0,00	0,000	0,75	0,546	1,50	0,866
0,50	0,039	0,80	0,576	1,55	0,878
0,10	0,079	0,85	0,604	1,60	0,890
0,15	0,119	0,90	0,631	1,65	0,901
0,20	0,158	0,95	0,657	1,70	0,910
0,25	0,197	1,00	0,682	1,75	0,919
0,30	0,235	1,05	0,706	1,80	0,928
0,35	0,273	1,10	0,728	1,85	0,935
0,40	0,310	1,15	0,741	1,90	0,942
0,45	0,347	1,20	0,769	1,95	0,948
0,50	0,382	1,25	0,788	2,00	0,954
0,55	0,417	1,30	0,806	2,25	0,975
0,60	0,451	1,35	0,823	2,50	0,987
0,65	0,484	1,40	0,838	3,00	0,997
0,70	0,516	1,45	0,852	4,00	0,999

Приведем пример: выполнено 30 измерений прочности дорожной одежды участка автомобильной дороги при среднем модуле упругости одежды  $E = 170$  МПа и вычисленном значении среднеквадратического отклонения  $\sigma = \pm 3,1$  МПа.

Требуемую точность измерений можно определить для разных уровней доверительной вероятности  $p_d = 0,9011; 0,9545; 0,9973$ . Значения  $t$  принимаем по табл. 5.1.

В этом случае соответственно  $\mu = \pm 3,1 \cdot 1,65 = \pm 5,1; \pm 3,1 \cdot 2,0 = \pm 6,2; \pm 3,1 \cdot 3,0 = \pm 9,3$  МПа. Следовательно, для данного средства и метода измерений доверительный интервал возрастает примерно в два раза, если  $p_d$  увеличить только на 10 %.

Если необходимо определить достоверность измерений для установленного доверительного интервала, например,  $\mu = \pm 7$  МПа, то по формуле (5.2)

$$t = \mu / \sigma = 7 / 3,1 = 2,26.$$

По таблице 5.1 для  $t = 2,26$  определяем  $p_d = 0,9764$ . Это значит, что в заданный доверительный интервал не попадают только три измерения из 100.

Таблица 5.2. Коэффициент Стьюдента  $\alpha_{ст}$

$n$	$p_d$					
	0,80	0,90	0,95	0,99	0,995	0,999
1	0,80	0,90	0,95	0,99	0,995	0,999
2	3,080	6,31	12,71	63,70	127,30	637,20
3	1,886	2,92	4,30	9,92	14,10	31,60
4	1,638	2,35	3,19	5,84	7,50	12,94
5	1,533	2,13	2,77	4,60	5,60	8,61
6	1,476	2,02	2,57	4,03	4,77	6,86
7	1,440	1,94	2,45	3,71	4,32	5,96
8	1,415	1,90	2,36	3,50	4,03	5,40
9	1,397	1,86	2,31	3,36	3,83	5,04
10	1,383	1,83	2,26	3,25	3,69	4,78
12	1,363	1,80	2,20	3,11	3,50	4,49
14	1,350	1,77	2,16	3,01	3,37	4,22
16	1,341	1,75	2,13	2,95	3,29	4,07
18	1,333	1,74	2,11	2,90	3,22	3,96
20	1,328	1,73	2,09	2,86	3,17	3,88
30	1,316	1,70	2,04	2,75	3,14	3,65
40	1,306	1,68	2,02	2,70	3,12	3,55
50	1,298	1,68	2,01	2,68	3,09	3,50
60	1,290	1,67	2,00	2,66	3,06	3,46
∞	1,282	1,64	1,96	2,58	2,81	3,29

Примечание:  $n$  – число параллельных серий опытов

Уравнением значимости называют значение  $(1 - p_d)$ . Из него следует, что при нормальном законе распределения погрешность, превышающая доверительный интервал, будет встречаться один раз из  $n_u$  измерений,

где

$$n_u = p_d / (1 - p_d), \quad (5.4)$$

или приходится забраковать одно из измерений.

По данным приведенного выше примера можно вычислить количество измерений, из которых одно измерение превышает доверительный интервал.

По формуле (5.4) при  $p_d = 0,9$  получим

$$n_u = 0,9 / (1 - 0,9) = 9 \text{ измерений.}$$

При  $p_d = 0,95 \Rightarrow n_u = 19$ , а при  $p_d = 0,9973 \Rightarrow n_u = 367$ , измерений.

*Определение минимального количества измерений.* Экспериментатор при проведении опытов с заданной точностью и достоверностью должен знать то количество измерений, при котором будет уверен в положительном результате. Поэтому одной из первоочередных задач при статистических методах оценки является установление минимального, но достаточного числа измерений для данных условий. Задача сводится к установлению минимального объема выборки (числа измерений)  $N_{min}$  при заданных значениях доверительного интервала  $2\mu$  и доверительной вероятности  $p_d$ . При выполнении измерений необходимо знать их точность.

$$\Delta = \sigma_0 \sqrt{x}, \quad (5.5)$$

где  $\sigma_0$  - среднеарифметическое значение среднеквадратичного отклонения  $\sigma$ ,  $\sigma_0 = \sigma \sqrt{n}$ .

Значение  $\sigma_0$  называют *средней ошибкой*. Доверительный интервал ошибки измерения  $\Delta$  определяется аналогично для измерений  $\mu = t \sigma_0$ .

С помощью  $t$  легко определить доверительную вероятность ошибки измерений из таблицы 5.1.

Довольно часто в экспериментальных исследованиях по заданной точности  $\Delta$  и доверительной вероятности измерения определяют минимальное количество измерений, гарантирующих требуемые значения  $\Delta$  и  $p_d$ .

Аналогично уравнению (5.3) с учетом (5.5) можно получить

$$\mu = \sigma \arg \varphi(p_d) = \sigma_0 / \sqrt{n} \cdot t. \quad (5.6)$$

При  $N_{min} = n$  получаем

$$N_{min} = \sigma^2 t^2 / \sigma_0^2 = k_B^2 t^2 / \Delta^2, \quad (5.7)$$

где  $k_B$  - коэффициент изменчивости или вариации, %;  $\Delta$  - точность измерений, %.

Для определения  $N_{min}$  может быть принята следующая последовательность вычислений:

- 1) проводится предварительный эксперимент с количеством измерений  $n$ , которое составляет в зависимости от трудоемкости опыта от 20 до 50;
- 2) вычисляется среднеквадратичное отклонение  $\sigma$  по формуле (5.1);
- 3) в соответствии с поставленными задачами эксперимента устанавливается требуемая точность измерений  $\Delta$ , которая не должна превышать точности прибора;
- 4) устанавливается нормированное отклонение  $t$ , значение которого обычно зависит от точности метода или задается;
- 5) по формуле (5.7) определяют  $N_{min}$  и тогда в дальнейшем процессе эксперимента число измерений не должно быть меньше  $N_{min}$ .

Например, комиссия при приемке сооружения в качестве одного из параметров замеряет его ширину. Согласно инструкции, требуется выполнить 25 измерений; допускаемое отклонение параметра  $\pm 0,1$  м. Если предварительно вычисленное значение  $\sigma = 0,4$  м, то можно определить, с какой достоверностью комиссия оценит данный параметр.

Согласно инструкции,  $\Delta = 0,1$  м. Из формулы (5.7) получим

$$t = \sqrt{n} \frac{\Delta}{\sigma} = \sqrt{25} \frac{0,1}{0,4} = 1,25.$$

В соответствии с табл. 5.1 при  $t = 1,25$  доверительная вероятность  $p_d = 0,79$ . Это низкая вероятность. Погрешность, превышающая доверительный интервал  $2\mu = 0,2$  м, согласно выражению (5.4) будет встречаться  $0,79/(1-0,79) = 3,37$ , то есть один раз из четырех измерений. Это недопустимо. Поэтому необходимо вычислить минимальное количество измерений с доверительной вероятностью  $p_d$ , равной 0,9 и 0,95. По формуле (5.7) при  $p_d = 0,90$  имеем

$$N_{min} = 0,4^2 \cdot 1,65^2 / 0,1^2 = 43 \text{ измерения}$$

При  $p_d = 0,95$   $N_{min} = 64$  измерения, что значительно превышает установленные 25 измерений.

Оценки измерений с использованием  $\sigma$  и  $\sigma_0$  с помощью приведенных методов справедливы при  $n > 30$ .



В 1908 году английский математик У. Госсет (псевдоним Стьюдент) предложил метод для нахождения границы доверительного интервала при малых значениях  $n$ , который применяют и сегодня. Кривые распределения Стьюдента в случае  $n \rightarrow \infty$  (практически при  $n > 20$ ) переходят в кривые нормального распределения (рис. 5.1).

Доверительный интервал для малой выборки

$$\mu_{СТ} = \sigma_0 \alpha_{СТ}, \quad (5.8)$$

где  $\alpha_{СТ}$  - коэффициент Стьюдента, принимаемый по таблице 5.2 в зависимости от значения доверительной вероятности  $p_d$ .

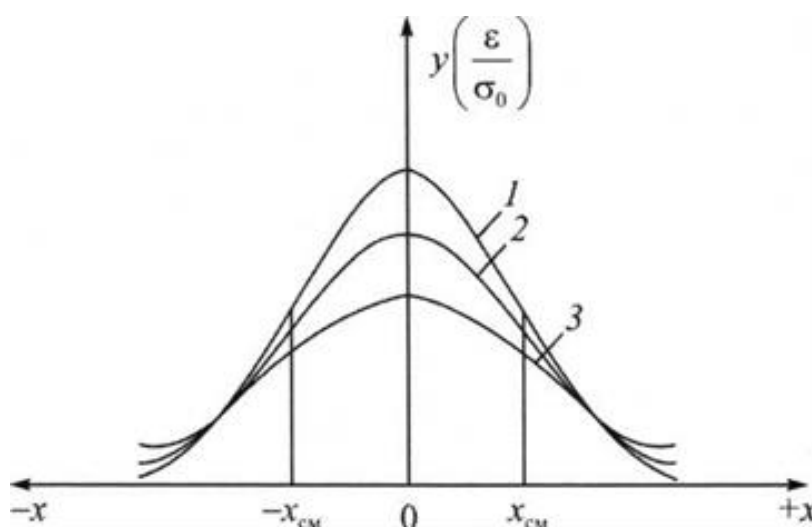


Рисунок 5.1. Кривые распределения Стьюдента: 1 -  $n \rightarrow \infty$ , 2 -  $n = 10$ , 3 -  $n = 2$

Зная  $\mu_{СТ}$ , можно вычислить действительное значение изучаемой величины для малой выборки,

$$x_D = \bar{x} \pm \mu_{СТ}. \quad (5.9)$$

Возможна и другая постановка задачи. По  $n$  известных измерений малой выборки необходимо определить доверительную вероятность  $p_d$  при условии, что погрешность среднего значения не выйдет за пределы  $\pm \mu_{СТ}$ . Эту задачу решают в следующей последовательности.

Вначале вычисляется среднее значение  $\bar{x}$ ,  $\sigma_0$  и  $\alpha_{СТ} = \mu_{СТ} / \sigma_0$ . Затем с помощью величины  $\alpha_{СТ}$ , известного  $n$  и табл. 5.2 определяется доверительная вероятность.

В процессе обработки экспериментальных данных следует исключать грубые ошибки ряда. Появление таких ошибок вполне вероятно, а их наличие серьезно может повлиять на результат измерений. Но прежде чем исключить то или иное измерение, необходимо убедиться, что это действительно грубая ошибка, а не отклонение вследствие статистического разброса.

Известно несколько методов определения грубых ошибок статистического ряда. Наиболее простым способом из них является правило трех сигм: разброс случайных величин от среднего значения не должен превышать

$$x_{\max, \min} = \bar{x} \pm 3\sigma . \quad (5.10)$$

Наиболее достоверными являются методы, базирующиеся на использовании доверительного интервала. Например, имеется статистический ряд малой выборки, подчиняющийся закону нормального распределения.

При наличии грубых ошибок критерии их появления вычисляются по формулам

$$\begin{cases} \beta_1 = \frac{(x_{\max} - \bar{x})}{\sigma} \sqrt{\frac{n-1}{n}}, \\ \beta_2 = \frac{(\bar{x} - x_{\min})}{\sigma} \sqrt{\frac{n-1}{n}}. \end{cases} \quad (5.11)$$

Максимальные значения  $\beta_{\max}$ , возникающие вследствие статистического разброса, в зависимости от доверительной вероятности приведены в табл. 5.3. Если  $\beta_1 > \beta_{\max}$ , то значение  $x_{\max}$  необходимо исключить из статистического ряда как грубую погрешность. При  $\beta_2 < \beta_{\max}$  исключается величина  $x_{\min}$ . После исключения грубых ошибок определяют новые значения  $x$  и  $\sigma$  из  $(n - 1)$  или  $(n - 2)$  измерений.

Для малой выборки применяют также второй метод установления грубых ошибок, который основан на использовании критерия В.И. Романовского.

При использовании этого метода методика выявления грубых ошибок сводится к следующему. Задаются доверительной вероятностью  $p_d$  и по табл. 5.4 в зависимости от  $n$  находят коэффициент  $q$  и вычисляют предельно допу-

стимулю абсолютную ошибку отдельного измерения:

$$\varepsilon_{np} = \sigma_q \cdot \quad (5.12)$$

Таблица 5.3. Критерий появления грубых ошибок

$n$	$\beta_{\max}$ при $p_d$			$n$	$\beta_{\max}$ при $p_d$		
	0,90	0,95	0,99		0,90	0,95	0,99
3	1,41	1,41	1,41	15	2,33	2,49	2,80
4	1,64	1,69	1,72	16	2,35	2,52	2,84
5	1,79	1,87	1,96	17	2,38	2,55	2,87
6	1,89	2,00	2,13	18	2,40	2,58	2,90
7	1,97	2,09	2,26	19	2,43	2,60	2,93
8	2,04	2,17	2,37	20	2,45	2,62	2,96
9	2,10	2,24	2,46	25	2,54	2,72	3,07
10	2,15	2,29	2,54	30	2,61	2,79	3,16
11	2,19	2,34	2,61	35	2,67	2,85	3,22
12	2,23	2,39	2,66	40	2,72	2,90	3,28
13	2,26	2,43	2,71	45	2,76	2,95	3,33
14	2,30	2,46	2,76	50	2,80	2,99	3,37

Таблица 5.4. Коэффициент для вычисления предельно допустимой ошибки измерения

$n$	Значения $q$ при $p_d$			
	0,95	0,98	0,99	0,995
2	15,56	38,97	77,96	779,7
3	4,97	8,04	11,46	36,5
4	3,56	5,08	6,58	14,46
5	3,04	4,10	5,04	9,43
6	2,78	3,64	4,36	7,41
7	2,62	3,36	3,96	6,37
8	2,51	3,18	3,71	5,73
9	2,43	3,05	3,54	5,31
10	2,37	2,96	3,41	5,01
12	2,29	2,83	3,23	4,62
14	2,24	2,74	3,12	4,37
16	2,20	2,68	3,04	4,20
18	2,17	2,64	3,00	4,07
20	2,15	2,60	2,93	3,98
□	1,96	2,33	2,58	3,29

Если  $\bar{x} - x_{max} > \varepsilon_{пр}$ , то измерение  $x_{max}$  исключают из ряда наблюдений. Этот метод более требователен к очистке ряда.

Также при анализе измерений для приближенной оценки можно применять следующую методику:

–вычислить по (5.1) среднеквадратичное отклонение  $\sigma$ , определить с помощью (5.5)  $\sigma_0$ ;

–принять доверительную вероятность  $p_d$  и найти доверительные интервалы  $\mu_{ст}$  с помощью (5.8);

–окончательно установить действительное значение измеряемой величины  $x_d$  по формуле (5.9).

Для более глубокого анализа экспериментальных данных рекомендуется такая последовательность:

1. после получения экспериментальных данных в виде статистического ряда его анализируют и исключают систематические ошибки;
2. анализируют ряд в целях обнаружения грубых ошибок и промахов; устанавливают подозрительные значения  $x_{max}$  и  $x_{min}$ ; определяют среднеквадратичное отклонение  $\sigma$ , вычисляют по формуле (5.11) критерии  $\beta_1$  и  $\beta_2$  и сопоставляют их с  $\beta_{max}$  и  $\beta_{min}$ ; исключают при необходимости из статистического ряда  $x_{max}$  или  $x_{min}$  и получают новый ряд из новых членов;
3. вычисляют среднеарифметическое значение  $\bar{x}$ , погрешности отдельных измерений  $(\bar{x} - x_i)$  и среднеквадратичное отклонение очищенного ряда  $\sigma$ ;
4. находят среднеарифметическое значение среднеквадратичного отклонения  $\sigma_0$  серии измерений и коэффициент вариации  $k_v$ ;
5. при большой выборке задаются доверительной вероятностью  $p_d = \varphi(t)$  или уравнением значимости  $(1 - p_d)$  и по табл. 5.1 определяют значения  $t$ .
6. при малой выборке ( $n < 30$ ) в зависимости от принятой доверительной вероятности  $p_d$  и числа членов ряда  $n$  принимают коэффициент Стью-

- дента  $\alpha_{CT}$ ; с помощью формулы (5.2) для большой выборки или (5.8) для малой выборки определяют доверительный интервал;
7. по формуле (5.9) устанавливают действительное значение исследуемой величины;
  8. оценивают относительную погрешность (%) серии измерений при заданной доверительной вероятности  $p_d$ :

$$\delta = \frac{\delta_0 \alpha_{CT}}{\bar{x}} 100. \quad (5.13)$$

Если погрешность серии измерений соизмерима с погрешностью прибора  $B_{пр}$ , то границы доверительного интервала будут определяться по формуле

$$\mu_{CT} = \sqrt{\sigma_0^2 \alpha_{CT}^2 + \left[ \frac{\alpha_{CT}(\infty)}{3} \right]^2}. \quad (5.14)$$

Этой формулой следует пользоваться при  $\alpha_{CT} \sigma_0 \leq 3B_{пр}$ . Если же  $\alpha_{CT} \sigma_0 > 3B_{пр}$ , то доверительный интервал вычисляют с помощью формул (5.1) и (5.9).

Например, имеется 18 измерений (табл. 5.5). Если анализ средств и результатов измерений показал, что систематических ошибок в эксперименте не обнаружено, то можно выяснить, не содержат ли измерения грубых ошибок. Если воспользоваться первым методом (критерием  $\beta_{max}$ ), то необходимо вычислить среднеарифметическое  $\bar{x}$  и отклонение  $\sigma$ . При этом удобно пользоваться формулой

$$\bar{x} = \bar{x}' + (x_i - \bar{x}')/n,$$

где  $\bar{x}'$  - среднее произвольное число. Для вычисления  $\bar{x}$ , например, можно принять произвольно  $x' = 75$ . Тогда  $x = 75 - 3/18 = 74,83$ .

В формуле (5.1) значение  $(\bar{x} - x_i)^2$  можно найти более простым методом:

$$(\bar{x} - x_i)^2 = \sum \left[ (x_i - \bar{x}') - \frac{(x_i - \bar{x}')^2}{n} \right].$$

Таблица 5.5. Результаты измерений и их обработки

$x_i$	$x_i - \bar{x}'$	$x_i - \bar{x}$	$(\bar{x} - x_i)^2$
67	-8	-7,83	64
67	-8	-7,83	64
68	-7	-6,83	49
68	-7	-6,83	49
69	-6	-5,83	36
70	-5	-4,83	25
71	-4	-3,83	16
73	-2	-1,83	4
74	-1	-0,83	1
75	0	+0,17	0
76	+1	+1,17	1
77	+2	+2,17	4
78	+3	+3,17	9
79	+4	+4,17	16
80	+5	+5,17	25
81	+6	+6,17	36
82	+7	+7,17	49
92	+17	+17,17	289
$\bar{x}' = 74,83$	$\Sigma = -3$	Проверка -46,5;+46,5	$\Sigma = 737$

В данном случае

$$(\bar{x} - x_i)^2 = 737 - 3^2/18 = 736,5.$$

По (5.1)

$$\sigma = 736,5/(18-1) = 6,58,$$

коэффициент вариации

$$k_B = 100 \cdot 6,58/74,83 = 8,8\%.$$

следовательно,

$$\beta_1 = \frac{92 - 74,83}{6,58 \sqrt{\frac{18-1}{18}}} = 2,68.$$

Как видно из табл. 5.3, при доверительной вероятности  $p_d = 0,99$  и  $n = 18$   $\beta_{\max} = 2,90$ . Поскольку  $2,68 < \beta_{\max}$ , измерение 92 не является грубым промахом. Если  $p_d = 0,95$ , то  $\beta_{\max} = 2,58$ , и тогда значение 92 следует исключить.

Если применить правило  $3\sigma$ , то

$$x_{\max, \min} = 74,82 \pm 3 \cdot 6,58 = 94,6 \dots 55,09 ,$$

то есть измерение 92 следует оставить.

В случае, когда измерение 92 исключается,  $\bar{x}' = 73,8$  и  $\sigma = 5,15$ .

Для всей серии измерений при  $n = 18$  среднеарифметическое среднеквадратичного отклонения  $\sigma_0 = 5,15/17 = 1,25$ .

Поскольку  $n < 30$ , ряд следует отнести к малой выборке и доверительный интервал вычисляется с применением коэффициента Стьюдента  $\alpha_{ст}$ . По табл. 5.2 принимается доверительная вероятность 0,95, и тогда при  $n = 18$   $\alpha_{ст} = 2,11$ ; если  $n = 17$ , то  $\alpha_{ст} = 2,12$ .

При  $n = 18$  доверительный интервал

$$\mu_{СТ} = \pm 1,55 \cdot 2,11 = \pm 3,2 ,$$

При  $n = 17$

$$\mu_{СТ} = \pm 1,25 \cdot 2,12 = \pm 2,7 .$$

Действительное значение изучаемой величины

$$\text{при } n = 18 \Rightarrow x_d = 74,8 \pm 3,2,$$

$$\text{при } n = 17 \Rightarrow x_d = 73,8 \pm 2,7.$$

Относительная погрешность результатов серии измерений

$$\text{при } n = 18 \delta = (3,2 \cdot 100)/74,8 = 4,3 \text{ \%};$$

$$\text{при } n = 17 \delta = (2,7 \cdot 100)/73,8 = 3,7 \text{ \%}.$$

Таким образом, если принять  $x_i = 92$  за грубый промах, то погрешность измерения уменьшится с 4,3 до 3,7 %, то есть на 14 %.

Если необходимо определить минимальное количество измерений при их заданной точности, проводят серию опытов и вычисляют  $\sigma$ , затем с помощью формулы (5.7) определяют  $N_{\min}$ .

В рассмотренном случае,  $\sigma = 6,58$ ;  $k_g = 8,91$  %. Если задана точность  $\Delta = 5$  и  $3$  % при доверительной вероятности  $p_d = 95$  %, то  $\alpha_{ст} = 2,11$ . Следовательно, при  $\Delta = 5$

$$N_{\min} = (8,91^2 \cdot 2,11^2) / 5^2 = 14,$$

а при  $\Delta = 3$  %

$$N_{\min} = (8,91^2 \cdot 2,11^2) / 3^2 = 40.$$

Таким образом, требование повышения точности измерения, но не выше точности прибора приводит к значительному увеличению повторяемости опытов.

В процессе экспериментальных исследований часто приходится иметь дело с косвенными измерениями. При этом в расчетах применяют те или иные функциональные зависимости типа

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (5.15)$$

В данную функцию подставляют приближенные значения, и окончательный результат также будет приближенным. Поэтому одной из основных задач теории случайных ошибок является определение ошибки функции, если известны ошибки их аргументов.

При исследовании функции одного переменного предельные абсолютные  $\varepsilon_{np}$  и относительные  $\delta_{np}$  погрешности вычисляют следующим образом:

$$\varepsilon_{np} = \pm \varepsilon_x f'(x). \quad (5.16)$$

$$\delta_{np} = \pm d[\ln(x)], \quad (5.17)$$

где  $f'(x)$  - производная функции  $f(x)$ ;  $d[\ln(x)]$  - дифференциал натурального логарифма функции.

Если исследуется функция многих переменных, то

$$\varepsilon_{np} = \pm \sum_1^n \left| \frac{df(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_i} \right|, \quad (5.18)$$

$$\delta_{np} = \pm d[\ln(x_1, x_2, \dots, x_n)]. \quad (5.19)$$



В (5.18) и (5.19) выражения под знаком суммы и дифференциала принимают абсолютные значения. Последовательность определения ошибок с помощью этих уравнений следующая. Вначале определяют абсолютные и относительные ошибки независимых переменных (аргументов). Обычно величина  $x_D \pm \varepsilon$  каждого переменного измерена, следовательно, абсолютные ошибки для аргументов  $\varepsilon_{x_1}, \varepsilon_{x_2}, \dots, \varepsilon_{x_n}$  известны. Затем вычисляют относительные ошибки независимых переменных:

$$\delta_{x_1} = \varepsilon_{x_1}/x_D; \quad \delta_{x_2} = \varepsilon_{x_2}/x_D; \quad \delta_{x_n} = \varepsilon_{x_n}/x_D. \quad (5.20)$$

Далее находят частные дифференциалы функции и по формуле (5.18) вычисляют  $\varepsilon_{пр}$  в размерностях функции  $f(y)$ , а с помощью (5.19) вычисляют  $\delta_{пр}$  (%).

Установление оптимальных, наиболее выгодных условий измерений является одной из задач теории измерений. Оптимальные условия измерений в данном эксперименте имеют место при  $\delta_{пр} = \delta_{пр \text{ min}}$ . Методика решения этой задачи сводится к следующему. Если исследуется функция с одним неизвестным переменным, то вначале следует взять первую производную по  $x$ , приравнять ее к нулю и определить  $x_I$ . Если вторая производная по  $x_I$  положительна, то функция (5.15) в случае  $x = x_I$  имеет минимум.

При наличии нескольких переменных поступают аналогичным способом, но берут производные по всем переменным  $x_1, \dots, x_n$ . В результате минимизации функций устанавливают оптимальную область измерений (интервал температур, напряжений, силы тока, угла поворота стрелки на приборе и т.д.) каждой функции  $f(x_1, \dots, x_n)$  при которой относительная ошибка измерений минимальна, то есть  $\delta_{xi} = \min$ .

Довольно часто в исследованиях возникает вопрос о достоверности данных, полученных в опытах. Например, пусть установлена прочность контрольных образцов бетона до виброперемешивания

$$R_1 = R_1 \pm \sigma_0 = 20 \pm 0,5 \text{ МПа}$$

и прочность бетонных образцов после виброперемешивания

$$R_2 = R_2 \pm \sigma_0 = 23 \pm 0,6 \text{ МПа} .$$

Прирост прочности составляет 15 %. Это упрочнение относительно небольшое, и его можно отнести за счет разброса опытных данных. В этом случае следует провести проверку на достоверность экспериментальных данных по условию

$$\bar{x} / \sigma_1 \geq 3 . \quad (5.21)$$

В данном случае проверяется разница  $\bar{x} = R_1 - R_2 = 3,0$  МПа. Ошибка измерения  $\sigma_0 = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$ , поэтому

$$\frac{R_1 - R_2}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} = \frac{3,0}{\sqrt{0,25 + 0,36}} = 3,84 > 3 . \quad (5.22)$$

Следовательно, полученный прирост прочности является достоверным.

Выше были рассмотрены общие методы проверки экспериментальных измерений на точность и достоверность. Но кроме этого, ответственные эксперименты должны быть проверены и на воспроизводимость результатов, то есть на их повторяемость в определенных пределах измерений с заданной доверительной достоверностью. Суть такой проверки заключается в следующем.

Имеется несколько параллельных опытов. Для каждой серии опытов вычисляют среднеарифметическое значение  $\bar{x}_i$  ( $n$  – число измерений в одной серии, принимаемое обычно равным 3–4). Далее вычисляют дисперсию  $D_i$ .

Чтобы оценить воспроизводимость, вычисляют расчетный критерий Кохрена

$$k_{кр} = \max D_i / \sum_1^m D_i , \quad (5.23)$$

где  $\max D_i$  - наибольшее значение дисперсий из числа рассматриваемых параллельных серий опытов  $m$ ;  $\sum_1^m D_i$  – сумма дисперсий  $m$  серий.

Рекомендуется принимать  $2 \leq m \leq 4$ . Опыты считают воспроизводимыми при

$$k_{кр} \leq k_{км} . \quad (5.24)$$

где  $k_{км}$  - табличное значение критерия Кохрена (табл. 5.6), принимаемое в зависимости от доверительной вероятности  $p_d$  и числа степеней свободы  $q = n - 1$ . Здесь  $m$  – число серий опытов;  $n$  – число измерений в серии.

Например, проведено три серии опытов по измерению прочности грунта методом пенетрации (табл. 5.7). В каждой серии выполнялось по пять измерений.

Тогда по формуле (5.23) получим

$$k_{кр} = \frac{2,96}{2,96 + 2,0 + 0,4} = 0,55 .$$

Вычислим число степеней свободы  $q = n - 1 = 5 - 1 = 4$ . Так, например, для  $m = 3$  и  $q = 4$  согласно табл. 5.6 значение критерия Кохрена  $k_{км} = 0,74$ . Так как  $0,55 < 0,74$ , то измерения в эксперименте следует считать воспроизводимыми.

Таблица 5.6. Критерий Кохрена  $k_{км}$  при  $p_d = 0,95$

$m$	$q = n - 1$									
	1	2	3	4	5	6	8	10	16	36
2	0,99	0,97	0,93	0,90	0,87	0,85	0,81	0,78	0,73	0,66
3	0,97	0,93	0,79	0,74	0,70	0,66	0,63	0,60	0,54	0,47
4	0,90	0,76	0,68	0,62	0,59	0,56	0,51	0,48	0,43	0,36
5	0,84	0,68	0,60	0,54	0,50	0,48	0,44	0,41	0,36	0,26
6	0,78	0,61	0,53	0,48	0,44	0,42	0,38	0,35	0,31	0,25
7	0,72	0,56	0,48	0,43	0,39	0,37	0,34	0,31	0,27	0,23
8	0,68	0,51	0,43	0,39	0,36	0,33	0,30	0,28	0,24	0,20
9	0,64	0,47	0,40	0,35	0,33	0,30	0,28	0,25	0,22	0,18
10	0,60	0,44	0,37	0,33	0,30	0,28	0,25	0,23	0,20	0,16
12	0,57	0,39	0,32	0,29	0,26	0,24	0,22	0,20	0,17	0,14
15	0,47	0,33	0,27	0,24	0,22	0,20	0,18	0,17	0,14	0,11

$m$	$q = n - 1$									
	1	2	3	4	5	6	8	10	16	36
20	0,39	0,27	0,22	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	0,11	0,08
24	0,34	0,24	0,19	0,16	0,15	0,14	0,12	0,11	0,09	0,07
30	0,29	0,20	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,07	0,06
40	0,24	0,16	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,04
60	0,17	0,11	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,02
120	0,09	0,06	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01

*Примечание:  $m$  - число параллельных опытов;  $q$  - число степеней свободы;  $n$  - число измерений в серии.*

Таблица 5.7. Результаты измерений прочности грунта методом пенетрации и их обработка

Серия опытов	Измерение величины и повторности					Вычисленные	
	1	2	3	4	5	$\bar{x}_i$	$D_i$
1	7	9	6	8	4	6,8	2,96
2	8	7	8	6	5	7,0	2,0
3	9	8	7	9	8	8,0	0,4

Если бы оказалось наоборот, то есть  $k_{кр} > k_{кт}$ , то необходимо было бы увеличить число серий  $m$  или число измерений  $n$  [4].

### 5.3. Методы графической обработки результатов измерений

При обработке результатов измерений широко используют методы графического изображения. Такие методы дают более наглядное представление о результатах эксперимента, чем табличные данные. Поэтому чаще табличные данные обрабатывают графическими методами с использованием обычной прямоугольной системы координат. Чтобы построить график, необходимо хорошо знать ход исследования, течение исследовательского процесса, т.е. то, что можно взять из теоретических исследований.

Экспериментальные точки на графике необходимо соединять плавной линией, чтобы она проходила как можно ближе ко всем экспериментальным точкам. Но могут быть исключения, так как иногда исследуют явления, для

которых в определенных интервалах наблюдается быстрое скачкообразное изменение одной из координат рис. 5.2.

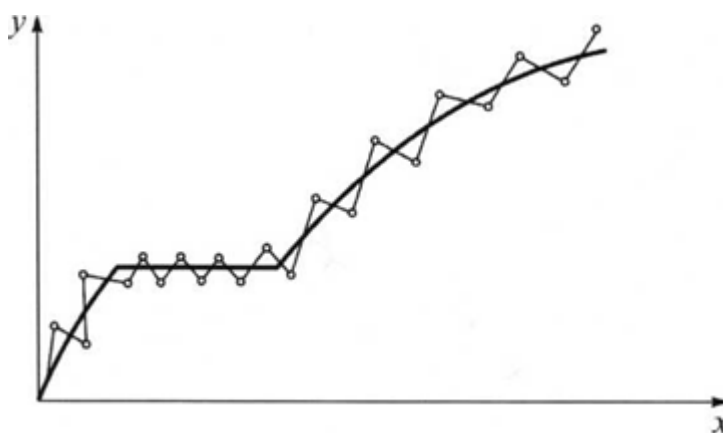


Рисунок 5.2. Скачкообразное изменение функции

Это объясняется сущностью физико-химических процессов, например радиоактивным распадом атомов в процессе исследования радиоактивности. В таких случаях необходимо плавно соединять точки кривой. Общее «осреднение» всех точек плавной кривой может привести к тому, что скачок функции подменяется погрешностями измерений.

Иногда исследуются явления, для которых в определенном интервале наблюдается скачкообразное изменение одной из координат, объясняемое сущностью физико-химического процесса.

Если при построении графика появляются точки, которые резко удаляются от плавной кривой, необходимо проанализировать причину этого отклонения, а затем повторить измерение в диапазоне резкого отклонения точки. Повторные измерения могут подтвердить или отвергнуть наличие такого отклонения.

Если измеряемая величина является функцией двух переменных параметров  $(x, y)$ , то в одних координатах можно построить несколько графиков (рис. 5.3), разбив диапазон измерения одного из параметров на несколько отрезков  $y_1, y_2, \dots, y_n$  [2].

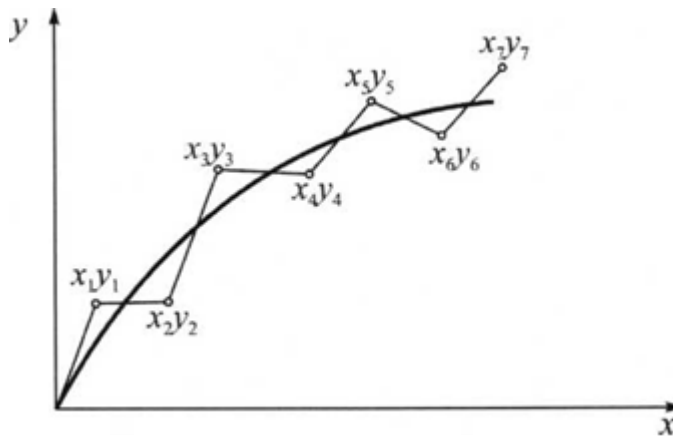


Рисунок 5.3. Разбивка диапазона измерений на несколько отрезков

Иногда при графическом изображении результатов эксперимента приходится иметь дело с тремя переменными  $b=f(x,y,z)$ . В таком случае применяют метод разделения переменных. Одной из величин  $z$  в пределах интервала измерения  $z_1 - z_n$  задают несколько последовательных значений. Для двух остальных переменных  $x$  и  $y$  строят графики  $y=f_1(x)$  при  $z_i = const$ . В результате на одном графике получают семейство кривых  $y=f_1(x)$  для различных значений  $z$  (рис. 5.4).

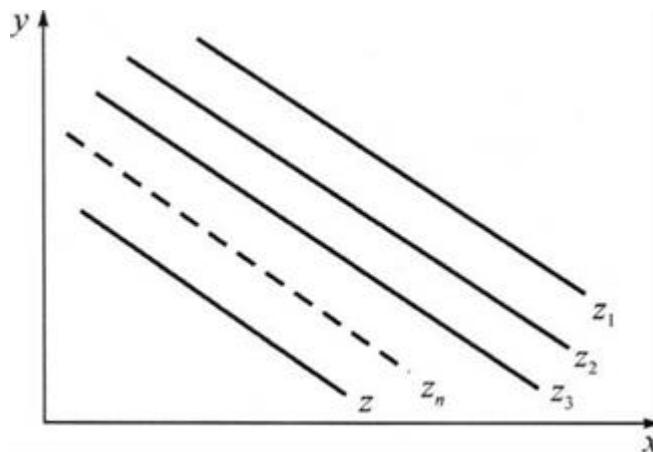


Рисунок 5.4. Метод разделения переменных

Также при графическом изображении результатов экспериментов существенную роль играет выбор системы координат или координатные сетки. Они бывают равномерными и неравномерными.

У равномерных координатных сеток ординаты и абсциссы имеют равномерную шкалу. Например, в системе прямоугольных координат длина откладываемых единичных отрезков на обеих осях одинаковая.

Неравномерные сетки бывают логарифмическими, полулогарифмическими, вероятностными. Их применяют для более наглядного представления изучаемой зависимости, например, спрямление криволинейных зависимостей.

Также при обработке экспериментальных данных графическим способом необходимо составить расчетные графики, которые ускоряют нахождение по одной переменной других. При этом повышаются требования к точности изображения функции на графике. При вычерчивании расчетных графиков необходимо в зависимости от числа переменных выбрать координатную сетку и определить вид графика. Это может быть одна кривая, семейство кривых или серия семейств.

Большое значение имеет при построении графиков, особенно расчетных, выбор масштаба, что связано с размерами чертежа и, соответственно, с точностью снимаемых с него значений величин. Чем больше масштаб, тем выше точность снимаемых значений. Графики, как правило, не должны превышать размеров 20 x 15.

Графики с минимумом или максимумом необходимо особенно тщательно вычерчивать в области экстремума. Поэтому здесь экспериментальные точки должны быть чаще. Часто для систематических расчетов вместо сложных теоретических или эмпирических формул используют номограммы, которые строят, применяя равномерные или неравномерные координатные сетки [4].

#### **5.4. Оформление результатов научного исследования**

Когда сформулированы выводы и обобщения, продуманы доказательства и подготовлены все иллюстрации, наступает следующий этап – литера-

турное оформление полученных результатов в виде отчета, статьи, доклада или презентации [4, 17, 18].

Литературное оформление результатов творческого труда предполагает знание и соблюдение определенных требований, предъявляемых к содержанию научной рукописи. В научных работах особенно важны ясность изложения, систематичность и последовательность представления материала.

Текст научной рукописи следует делить на абзацы, то есть на части, начинающиеся с красной строки. Важно помнить, что правильная разбивка на абзацы облегчает чтение и усвоение содержания текста. Критерием такого деления является смысл написанного – каждый абзац должен включать самостоятельную мысль, содержащуюся в одном или нескольких предложениях.

Также в рукописи следует избегать повторений, не допускать перехода к новой мысли, пока первая не получила полного законченного выражения. Писать текст нужно по возможности краткими и ясными для понимания предложениями. Текст лучше воспринимается, если в нем исключены частое повторение одних и тех же слов, выражений, тавтологии, сочетания в одной фразе нескольких свистящих и шипящих букв.

Изложение должно включать критическую оценку существующих точек зрения, высказанных по данному вопросу, даже если они не в пользу автора. В тексте нежелательно делать много ссылок на себя. При необходимости следует употреблять выражения в третьем лице, например, *автор полагает* или, *по нашему мнению*, и т.д.

Не рекомендуется перегружать рукопись цифрами, цитатами, иллюстрациями, так как это отвлекает внимание читателя и затрудняет понимание содержания.

Цитируемые в рукописи места (например, высказывания) должны иметь точные ссылки на источники. Необходимым условием является соблюдение единства условных обозначений и допускаемых сокращений слов, которые должны соответствовать принятым стандартам.



Структура научной работы. Каждое произведение научного характера можно условно разделить на три части: вводную, основную и заключительную.

Вначале придумывается *заглавие* работы. Оно должно быть кратким, определенным и отвечающим содержанию работы. Название работы выносится на титульную страницу.

*Титульный лист* – это первая страница рукописи, на которой указаны надзаголовочные данные, сведения об авторе, заглавие, подзаголовочные данные, сведения о научном руководителе, место и год выполнения работы.

*Оглавление* раскрывает суть работы путем обозначения глав, параграфов и других рубрик рукописи с указанием страниц, с которых они начинаются. Оно может быть в начале или в конце работы. Названия глав и параграфов должны точно повторять соответствующие заголовки в тексте.

При оформлении научной работы иногда возникает необходимость написать предисловие. В нем излагаются внешние предпосылки создания научного труда: чем вызвано его появление; где и когда была выполнена работа; перечисляются организации и лица, оказавшие помощь при выполнении данной работы.

*Введение* (вступление) – вводит читателя в круг рассматриваемых проблем и вопросов. В нем определяются новизна, актуальность, научная и практическая значимость темы, степень ее разработанности, то есть обосновывается выбор темы научного исследования. Здесь же формулируются цели и задачи, которые ставились автором, описываются примененные методы и практическая база исследования.

В диссертационных исследованиях указывают объект и предмет исследования, положения, выносимые на защиту, говорят о теоретической и практической ценности полученных результатов и дают сведения об их апробации. Обычно объем введения не превышает 5–7% объема основного текста.

Основная часть состоит из нескольких глав, разбитых на параграфы. Первый параграф чаще бывает посвящен истории или общетеоретическим во-

просам рассматриваемой темы, а в последующих параграфах раскрывают основные ее аспекты. В основное содержание работы входит обобщение материала, методы, экспериментальные данные и выводы самого исследования.

Особое внимание следует обращать на точность используемых в тексте слов и выражений, не допускать возможности их двусмысленного толкования. Новые термины или понятия необходимо подробно разъяснять.

Цифровой материал должен быть представлен в доступной форме (в виде таблиц, графиков, диаграмм). Особой точности требует цифровой материал, чтобы избежать неверных выводов.

Таблицы, включенные в текст должны иметь наименование (заголовок) и номер или для всей работы (табл. 2), или для данной главы, например, четвертой (табл. 4.2). Таблица должна содержать ответы на четыре вопроса: что, когда, где, откуда. Текст к таблице дается очень краткий, в нем указываются только основные взаимоотношения и выводы, которые вытекают из цифрового материала.

В конце работы как итог пишутся *выводы* в виде кратко сформулированных и пронумерованных отдельных тезисов. Выводы должны касаться только того материала, который изложен в работе. Следует соблюдать главный принцип: *в выводах нужно идти от частных к более общим и важным положениям.*

Характерной ошибкой при написании выводов является перечисление того, что сделано в работе вместо формулировки результатов исследования.

В *заключении* в логической последовательности излагают полученные результаты исследования, указывают на возможность их внедрения в практику, определяют дальнейшие перспективы работы над темой. *Заключение* не должно повторять *выводы*. Оно бывает небольшим по величине, но емким по содержанию.

В конце работы приводится *список литературных источников*. В список включаются только те литературные источники, которые были использо-

ваны при написании работы и упомянуты в тексте или сносках. Список составляется по разделам с учетом требований стандартов.

В научных работах нередко возникает необходимость приводить в конце работы *приложения*. Они включают графики, вспомогательные таблицы, дополнительные тексты, извлечения из отдельных нормативных актов. Каждому материалу приложения надо присвоить самостоятельный порядковый номер, который при необходимости можно указать в тексте при ссылке на вспомогательные материалы. При подсчете объема научной работы приложения не учитываются.

При написании научной работы необходима аннотация или реферат.

*Аннотация* – это краткая характеристика научной работы с точки зрения содержания, назначения, формы и других особенностей. Она должна отвечать на вопрос: «О чем говорится в первичном документе?».

В соответствии с ГОСТ 7.38-91 аннотация включает: характеристику типа научной работы, основную тему, проблему, объект, цель работы и ее результаты. В аннотации указывается, что нового несет в себе данная работа. Средний объем аннотации составляет 600 печатных знаков.

*Реферат* – это сокращенное изложение содержания первичного документа или его части с основными фактическими сведениями и выводами. Реферат в отличие от аннотации выполняет познавательную функцию и отвечает на вопрос: «Что говорится в первичном документе?».

Основные требования к реферату содержатся в ГОСТ 7.38-91, согласно которому он должен включать тему, предмет исследования, характер и цель работы, методы проведения исследования, конкретные результаты, выводы и оценки, характеристику области применения. Средний объем реферата составляет от 500 до 5500 пч. зн. (для документов большого объема).

Научная информация имеет свойство куммулятивности, то есть свойство уменьшения объема со временем путем более краткого, обобщенного изложения при переходе от документов, фиксирующих результаты лабораторных экспериментов, к научно-техническому отчету, статьям, обзорам, моно-

графиям, учебникам, справочникам [4, 19, 20, 21]. В каждом последующем звене этой цепочки одна и та же информация, рожденная на этапе исследовательской деятельности, представляется в более уплотненном виде.

В каждый последующий документ включается не вся созданная на этапе исследования информация, а только наиболее важна, актуальная, «отстоявшаяся», наиболее соответствующая читательскому назначению для подготавливаемого документа.

Такое представление научно-технической информации в более уплотненном виде достигается путем свертывания информации. Это понятие включает в себя совокупность операций аналитико-синтетической переработки документов. Его цель создание вторичных документов или изложение содержания исходного текста в более экономичной форме при сохранении или некотором уменьшении его информативности в производном тексте [4].

В процессе свертывания информации текст не просто сокращается, а именно «сворачивается», причем таким образом, чтобы при необходимости имелась возможность вновь его развернуть на основе сохраненных «смысловых вех», «смысловых опорных пунктов». Так поступают, например, при составлении индивидуального конспекта, в который включается обычно то, что впоследствии позволяет мысленно восстановить конспектируемый текст. Свертывание бывает *метаинформативное* и *информативное*.

*Метаинформативное свертывание* – это создание ряда документов, основная цель которых раскрыть тему и содержание других документов (библиографические описания, аннотации, библиографические обзоры, авторефераты диссертаций, предисловия и введения к книгам, программы учебных курсов, справочные аппараты изданий).

*Информативное свертывание* – это создание ряда документов, основная цель, которых служить непосредственным источником информации при решении определенных задач. Его результатом могут быть как первичные документы (отчет, статья, краткое сообщение, информационный листок), так и вторичные (рефераты, фактографические справки, реферативные обзоры).

Важным этапом работы над рукописью отчета или другого материала, готовящегося к печати, является *редактирование*, которое осуществляется первоначально автором при работе над рукописью (авторский этап издательского процесса) и затем редактором (редакционный этап издательского процесса).

Основной целью *редактирования* является критический анализ предназначенной к изданию работы с целью ее правильной оценки и совершенствования содержания и формы в интересах читателя и общества. При редактировании особое внимание обращается на полноту и существенность приводимых фактов, их новизну и связь с современной жизнью, на вклад данной работы в прогресс в соответствующей области знаний, достоверность, точность и убедительность, на соблюдение законов и закономерностей конкретной науки, отрасли знаний, производства, на соответствие отдельных частей текста их функциям, на форму текста.

Самыми важными сторонами формы текста являются:

- композиционная, то есть правильное построение научной работы, объединяющей все ее элементы в единое целое;
- рубрикационная, то есть деление текста на структурные единицы, части, разделы, главы, параграфы;
- логическая, то есть соответствие рассуждений, выводов и определений автора нормам логически правильного мышления;
- грамматико-стилистическая и графическая (качество таблиц и иллюстраций).

*Иллюстрация* – это изображение, служащее пояснением либо дополнением к какому-либо тексту. В таких издательствах, как «Просвещение», «Наука», «Машиностроение» принято, что на один авторский лист может быть представлено в научной литературе 5–8 иллюстраций, в производственно-технической – 8–10, в учебной и популярной – 5–12.

Ссылку на иллюстрацию помещают в тексте вслед за упоминанием предмета, ставшего объектом изображения, например, рис. 11. Повторные

ссылки на иллюстрации сопровождаются сокращенным словом см. (см. рис. 11). Могут быть ссылки и на часть иллюстрации, обозначенную буквой, например: рис. 40, а. При редактировании необходимо обращать внимание на грамматико-стилистическую сторону текста, то есть на правильность построения фраз и грамматических оборотов, на целесообразность использования тех или иных слов. При этом полезно знать основные приемы анализа рукописи, позволяющие замечать и устранять типичные ошибки языка и стиля.

Одна из самых распространенных ошибок – употребление лишних или необязательных слов. Многословие всегда затемняет основную мысль автора, ослабляет действенность печатного произведения, делает его менее доступным для читателя. Поэтому слова, употребление которых не находит оправдания, должны быть отнесены к лишним.

Слово «редактирование» происходит от лат. *redactus*, что дословно означает «приведенный в порядок». Однако автор не должен считать, что устранение беспорядка в его рукописи – это дело редактора. Автору рекомендуется в какой-то мере продублировать редактора. Это первая ступень обработки рукописи. Здесь необходимо примириться с многократными переделками, сокращениями и дополнениями. Желательно после некоторого промежутка времени заново прочитать свою рукопись и попытаться оценить ее в целом и по частям с точки зрения читателя (вторая ступень).

Третья ступень – детальное прочтение для выявления ошибок в тексте, соответствия иллюстраций, единообразия терминологии, обозначений. Только после выполнения этих требований рукопись можно сдавать в издательство. Если работа оформляется в виде статьи в журнал, то она должна быть отправлена в редакцию в законченном виде в соответствии с требованиями, которые обычно публикуются в отдельных номерах журналов в качестве памятки авторам.

Рукопись статьи, представляемая для опубликования в журнале или сборнике, должна содержать полное название работы, фамилию, инициалы автора, аннотацию (на отдельной странице), список использованной литера-

туры, разрешение на опубликование материалов в открытой печати (акт экспертизы). Рукопись должна быть подписана автором (-ами) и в приложении содержать фамилию, имя и отчество автора (-ов), ученую степень автора (-ов), их телефоны и адреса. Текст статьи представляется в двух экземплярах.

Некоторые научно-технические материалы, хотя и содержат неизвестные ранее сведения, могут заинтересовать лишь небольшую часть специалистов, в связи с чем их публикация в многотиражных журналах нецелесообразна. Для того чтобы предоставить возможность специалистам ознакомиться с такими работами, в стране введено *депонирование* рукописей, то есть принятие на хранение таких материалов. *Депонирование* предусматривает не только прием и хранение рукописей, но и организацию информации о них, копирование рукописей по запросам потребителей.

Материалы для депонирования оформляются по тем же правилам, что и статьи, представляемые для публикации. За автором депонируемых материалов сохраняется авторское право, в дальнейшем он может опубликовать их. В России функционирует Всероссийская сеть депонирования, включающая около 100 организаций-депозитариев (организаций, принимающих рукописи на хранение).

Все работы, предназначенные для публикации, проходят предварительное рецензирование. *Рецензия* – это обычно небольшая статья, содержащая критическую оценку или анализ печатного труда. Рецензия должна содержать: заглавие рецензируемого источника; краткое перечисление основных вопросов; указание на основные достоинства и недостатки рецензируемой работы. В конце рецензии приводится резюме, в котором оценивается актуальность работы, ее теоретическая и практическая значимость, дается оценка правильности доказательств и выводов.

Различают рецензии *информационные*, кратко освещающие содержание рассматриваемой работы, и *критические рецензии*, подвергающие научному анализу позиции автора, уточняющие или дополняющие использованный автором фактический материал [4].

## 5.5. Устное представление информации

Значительную часть научных сведений ученые получают из устных источников – докладов и сообщений на конгрессах, симпозиумах, конференциях, семинарах. *Съезды и конгрессы* – высшая и наиболее представительная форма общения имеет национальный или международный характер. Здесь вырабатывается стратегия в определенной области науки и техники.

*Конференция* является самой распространенной формой обмена информацией. Одна часть (докладчики) сообщает о новых научных идеях, результатах теоретических и экспериментальных исследований, отвечает на вопросы. Другая часть (слушатели) слушает, задает вопросы, участвует в прениях.

На *конференциях* устанавливается строгий регламент для докладчиков, выступающих в прениях, организуется секционная работа. Конференции обычно принимают решения и рекомендации.

На конференциях иногда организуются *стендовые доклады*. В определенном месте вывешивается активный материал к докладу, и докладчик отвечает на вопросы.

*Совещание* – это форма коллективных контактов ученых и специалистов одного научного направления. Состав участников совещания и длительность выступлений строго регламентируются.

*Коллоквиум* – это форма коллективных встреч, где обмениваются мнениями ученые различных направлений.

*Симпозиум* – это полуофициальная беседа с заранее подготовленными докладами и выступлениями экспромтом. Наиболее ответственная задача на всех вышеперечисленных мероприятиях выпадает на долю докладчиков.

Выступление с докладом – ответственное научное поручение. Особенно полезны выступления слушателей и научные дискуссии. Публичные выступления с докладом воспитывают привычку не бояться аудитории и умение быстро концентрировать внимание при ответах на вопросы, вести научную дискуссию.



Перед выступлением с докладом следует подготовить краткий план изложения и подробный конспект с тем, чтобы в начале доклада кратко сообщить основные вопросы, которые будут изложены. Во время доклада можно пользоваться краткими записями, чтобы не упустить важное. Это придает чувство уверенности, обеспечивает ясность и краткость изложениям материала. В процессе доклада держаться следует свободно, обращаться ко всей аудитории, а не концентрировать внимание на отдельном слушателе. При подготовке доклада необходимо предварительно прочесть его несколько раз вслух.

Перед докладом следует подготовить *тезисы* – сжатые, кратко сформулированные основные положения доклада. Они включают основные положения всей научной работы – от начала до конца, а не только собственно исследовательскую часть.

*Тезисы* представляют собой развернутые выводы с вводной поясняющей и обосновывающей частью, а также заключением. В тезисах в краткой форме даются обоснование темы, история вопроса, изложена методика исследования и его результаты. Тезисы могут быть краткими или развернутыми, но они всегда отличаются от полного текста доклада тем, что в них отсутствуют детали, пояснения, иллюстрации. Отдельные тезисы должны быть связаны между собой логически, как звенья одной цепи.

Докладчики в процессе доклада часто используют демонстрационный материал и технику. В качестве графических материалов особенно часто используются схемы и диаграммы алгоритмов.

Схемы в соответствии с требованиями ЕСКД (ГОСТ 2.701–84. ЕСКД. Схемы, виды и типы. Общие требования к выполнению) подразделяются на структурные, функциональные, принципиальные и др. Выполняются они без соблюдения масштаба. На схемах допускается помещать различные технические данные, указываемые либо около графических обозначений, либо на свободном поле схемы, по возможности над основной надписью.

Диаграммы алгоритмов используются для наглядного представления аналитического решения задачи, разделения процесса на самостоятельные и

легко преобразуемые части и для обеспечения работы с алгоритмами. Операция, которая выполняется на каждом шаге алгоритма, отображается диаграммным символом, внутри которого дается словесная или символическая запись (ГОСТ 19.003-80. ЕСКД. Схемы алгоритмов и программ. Обозначения условные графические).

К техническим средствам, используемым в ходе доклада, относятся проектор, звукозапись, кинофильм и др.

Выступление с докладом – это самопроверка автора. Очень полезны сделанные по докладу замечания и советы. Участие в научной дискуссии требует от докладчика и специалиста-слушателя определенного умения, которому нужно учиться. Дискуссия – ещё одна полезная форма коллективного мышления. Различные точки зрения, высказываемые в дискуссии, способствуют активному мышлению, заставляют тщательно продумывать и обосновывать собственную точку зрения. Более того, между различными мнениями устанавливаются связи, которые без дискуссии могли бы оказаться упущенными.

Участие в дискуссии – лучший способ развития навыка обдумывания и критического суждения, где проверяется качество накопленных человеком знаний. Дискуссия – это хорошая тренировка для публичных выступлений.

Формы участия в дискуссии могут быть различными. Например, слушать и записывать. Это не просто внимание, а самостоятельное мышление, так как запись требует личной оценки высказываемых мыслей. Записывать в момент дискуссии трудно, ибо высказываемые мысли не так систематичны (у их автора не было достаточно времени для строгого логического построения своего выступления). Записывать следует резюме, выводы, а также меткие слова, выражения, образные сравнения и примеры, которые впоследствии позволят восстановить в памяти атмосферу дискуссии, помогут вспомнить её содержание.

Формой участия в дискуссии является постановка вопросов с целью уточнить неясные моменты или получить дополнительную информацию. Са-

мая активная форма участия в дискуссии – это высказывание своего мнения, которое должно быть достаточно обоснованным. Этика поведения во время дискуссии может быть кратко определена так: поиск истины, а не победа над противником, ибо последний может оказаться правым [4].

## **5.6. Изложение и аргументация выводов научной работы**

Выводы, выражающие основное содержание полученного знания, должны быть сформулированы в соответствии с целями и задачами исследования и содержать решение поставленной проблемы. Это ответ на совокупность вопросов, заложенных в названных элементах научного исследования. Вывод должен быть изложен в тех понятиях и выражениях, посредством которых ставились вопросы, а также посредством понятий и выражений, чья связь с исходными может быть установлена в процессе аргументации выводов.

*Аргументация* – это процесс обоснования определенной точки зрения с целью их смысловой идентификации с исследуемой реальностью и принятия научным сообществом.

В ходе аргументации нужно показать, во-первых, что действительно существуют исследуемые объекты, которые обладают зафиксированными свойствами, интенсивность и динамика которых зависит от структуры объекта, определенной совокупности воздействующих на него факторов, то есть показать, что содержащееся в выводах знание отражает реальное положение вещей.

Во-вторых, предстоит в такой мере повлиять на коллег, работающих по данной проблеме, а также на более широкий круг представителей научного сообщества, практиков, чтобы они приняли предлагаемую точку зрения как собственное убеждение, в определенной мере изменив свои прежние взгляды.

Первый процесс составляет логико-гносеологический аспект аргументации, второй – ее логико-коммуникативный аспект. В качестве синонимов вы-

ражения «аргументация» иногда употребляют слова «обоснование» и «доказательство». Наиболее тесную связь отмечают между доказательством и обоснованием, которые являются способами осуществления аргументации. Однако это не вполне корректно, поскольку при некотором совпадении содержания данных процедур в каждой из них доминируют различные установки. В аргументации – это установка на принятие определенной точки зрения научным сообществом, в обосновании – на смысловую идентификацию данной точки зрения с реальностью, в доказательстве – на установление логической связи между выдвигаемым положением и совокупностью положений, которые считаются истинными и приняты научным сообществом.

Аргументация включает три элемента:

тезис – положение или совокупность положений, которые требуется обосновать;

аргументы (основания) – совокупность оснований, приводимых для подтверждения тезиса;

демонстрация (доказательство) – способ связи аргументов между собой и тезисом.

Специфику тезиса часто характеризуют посредством вопроса «что аргументируется?». В реальном научном исследовании аргументации подлежит всё полученное знание. Аргументации или обоснованию подлежат формулируемые законы, гипотезы, теории.

Главную особенность аргументов выражают вопросом «Чем аргументируется тезис?». Данными о действительном положении вещей, которые фиксируются органами чувств человека, или совокупностью знаний, опосредованных чувственными данными?

В первом случае аргументами выступают данные наблюдений и экспериментов, во втором – совокупность понятий, законов, теорий. Демонстрацию характеризуют вопросом: «Каким способом аргументируется тезис?». Это может быть прямое указание на данные непосредственных наблюдений и экспериментов, а также построение логичного доказательства, в рамках которого

истинность (приемлемость) тезиса обосновывается положениями, истинность которых была доказана ранее.

Специфика каждого из элементов аргументации существенно влияет на общий характер процесса аргументации, в связи с чем выделяют ее типы и виды. Особенно важна в этом плане специфика аргументов. Ими могут быть действительные события, процессы, явления, т.е. реальное положение вещей, с одной стороны.

С другой стороны – знания о реальном положении вещей, фиксируемые в виде законов, понятий, принципов, теорий. Выделяют непосредственное и опосредованное подтверждение, доказательство и опровержение как особые типы аргументации, практикуемой не только в науке, а также эмпирическую и теоретическую аргументацию, интерпретацию и объяснение как виды научной аргументации.

*Непосредственное* подтверждение – это аргументация приобретенного знания путем прямого наблюдения объектов, существование и параметры которых составляют предмет исследования. Например, непосредственно можно наблюдать все открытые космические объекты и биологические виды, большинство экономических и социальных процессов.

*Опосредованное* подтверждение – это процесс аргументации приобретенного знания путем установления ею связей с совокупностью знаний, истинность которых была установлена ранее независимо от содержания аргументируемого знания. Обычно такого рода аргументация осуществляется путем выведения следствий из тезиса и их подтверждения.

*Доказательство* – это тип аргументации, представляющий собой логический процесс, направленный на обоснование истинности определенного положения с помощью других положений, истинность которых установлена ранее.

*Опровержение* – это тип аргументации, в процессе которого устанавливается ложность тезиса или средств его обоснования.

*Эмпирическая аргументация* – это обоснование приобретенного знания, непременно включающее ссылку на данные наблюдений и экспериментов. Например, о наличии нового биологического вида, повышении социальной и экономической стабильности.

*Теоретическая аргументация* – это обоснование приобретенного знания путем установления его связи с элементами знаний теоретического и метатеоретического уровней без непосредственного обращения к данным наблюдений и экспериментов. Это прежде всего интерпретация и объяснение знания, которые выделяют в качестве самостоятельных видов аргументации.

*Интерпретация* представляет собой процесс экстраполяции исходных положений формальной или математической системы на какую-либо содержательную систему, исходные положения которой определяются независимо от формальной системы. Она осуществляется в науках, использующих формально-математические методы. В более широком смысле интерпретация – это предписывание определенных значений исследуемому объекту или процессу.

*Объяснение* – это вид научной аргументации, ориентированный на выяснение сущности исследуемого объекта. В современных исследованиях показано, что процесс творческого поиска неизбежно включает в себя процессы обоснования, которые корректируют творческие усилия, закрепляют промежуточные результаты, обеспечивают содержательную связь приращенного знания с исходным [4].

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какие виды совокупности измерений вам известны?
2. Что такое доверительная вероятность измерения?
3. Как определить минимальное количество измерений?
4. Какие задачи у теории измерений?
5. Расскажите о методе проверки эксперимента на точность?

6. Расскажите о методе проверке эксперимента на достоверность?
7. В чем заключается проверка эксперимента на воспроизводимость результатов?
8. Как вычислить критерий Кохрена?
9. Какие методы графической обработки результатов измерений вы знаете?
10. Как оформляются результаты научного исследования?

## **Глава 6. ПОНЯТИЕ И СТРУКТУРА МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

### **6.1. Понятие и признаки магистерской диссертации**

Магистерская *диссертация* (от лат. – исследование, рассуждение) – самостоятельное научное сочинение с элементами научной новизны, призванное подтвердить высокий уровень выпускника, его способность решать сложные практические и теоретические задачи. Это конечный результат проделанной магистрантом большой научно-исследовательской работы, свидетельствующий о полученной им квалификации, набранном опыте работы, умении решать сложные задачи, свободно ориентироваться в научной и технической литературе, умении грамотно излагать свои мысли, а также передавать свои знания коллегам по научному направлению.

Диссертация готовится автором единолично. В ней должна содержаться совокупность новых научных результатов и положений, выдвигаемых для публичной защиты. А также должны быть сформулированы основные направления дальнейшего решения проблемы. Как научное произведение, она должна иметь внутреннее единство и свидетельствовать о личном вкладе ее автора в науку.

*Диссертация*, как научно-квалификационная работа существенно отличается от дипломного проекта. Она обладает двумя важнейшими признаками: *выдвижение гипотезы* и *поиск новой научной идеи*.

Выдвижение гипотезы. *Гипотеза* – это научное предположение, допущение, истинное значение которого неопределенно. Гипотеза является одним из главных методов развития научного знания. При выдвижении гипотезы магистрант предполагает, каким образом он намерен достичь поставленной цели исследования. Гипотеза, начиная с плана проекта исследования и кончая готовой диссертацией, может неоднократно уточняться, изменяться или дополняться.

При построении гипотезы и в ходе исследования желательно учесть одно существенное обстоятельство. Добросовестно исследуя свою проблему, магистрант получает как положительные результаты, так и отрицательные. Многие стремятся отрицательные моменты в текст диссертации не включать. И напрасно, как раз это обогащает работу, придает ей достоверность и убедительность. А, кроме того, это научный долг диссертанта – предостеречь возможных последователей от тех ошибочных вариантов, которые уже опробованы.

*Поиск научной идеи* – это творческий процесс, поэтому здесь невозможно дать какие-либо готовые рекомендации. Можно лишь посоветовать попытаться идти по пути обобщения уже известных результатов, изложенных в нескольких опубликованных другими авторами научных работах, либо по пути более глубокого рассмотрения каких-либо интересных частных случаев уже известного общего результата. В других случаях получению нового теоретического результата предшествуют обширные экспериментальные исследования объекта, изучение закономерностей его поведения в тех или иных условиях, накопление статистических данных – только потом из них можно вывести новую аналитическую зависимость, пользуясь которой, синтезировать новые технические объекты, обладающие более совершенными свойствами или большей экономической эффективностью.



Практика показывает, что в современной науке появление совершенно новой идеи, разработка новой концепции «с нуля» – явление крайне редкое. Подавляющее большинство новых научных результатов есть следствие долгого и планомерного развития научной мысли в определенном направлении [5].

## 6.2. Структура магистерской диссертации

Содержание включает введение, наименования всех глав и параграфов, заключение, список использованной литературы и наименование приложений с указанием номеров страниц, с которых начинаются все составляющие части диссертации. Содержание включают в общее количество листов текстового документа.

Во *введении* обосновывается выбор темы исследования, цель и задачи диссертации, раскрываются актуальность темы, её новизна, объект и предмет исследования, анализ полученных результатов и теоретическая и практическая их значимость. В введении к работе желательно кратко сказать об этапах дальнейшего изложения материала и обосновать логику его построения.

Краткая характеристика составляющих введения.

Актуальность темы магистерской диссертации. Тема диссертации — это не просто её название. *Тема* – это намечаемый результат исследования, направленный на решение конкретной проблемы. Поэтому важно чётко определиться с выбором, так как на её решение магистрант собирается потратить свои силы и время.

Под проблемой понимается различие между тем, как функционирует исследуемая система и тем, как она должна быть организована в соответствии с повышением уровня знаний автора и условиями их практического применения. Проблема всегда заключается в понимании того, что происходит в рамках изучаемой системы в целом и за счет каких средств поддерживается ее единство. Только в ходе изучения всех взаимосвязей и взаимозависимостей

элементов системы можно обнаружить пути устранения причин разбалансированности отдельных звеньев системы.

Формулировка проблемы научного исследования является по сути, кристаллизацией замысла магистранта. Поэтому правильная её постановка — это залог успеха всей работы.

Одним из важных этапов для уяснения четкости проблемы является определение степени её разработанности, проведение анализа различных точек зрения ученых, выявление достижений и «белых пятен» в исследованиях данной проблемы. Он проводится с помощью изучения научной литературы. Это первое, что должен сделать диссертант, так как это задаёт алгоритм всем последующим его действиям и определяет то, ради чего предпринято диссертационное исследование.

Если кратко, то параметры проблемы можно определить следующими вопросами: «Что?», «Где?» и «Когда?». Только ответив на эти вопросы, проблема будет сформулирована таким образом, что позволит четко очертить круг исследуемых задач.

Важно подчеркнуть, что название проблемы должно содержать именно ее проблемное восприятие, которое требует развернутого научного исследования. Также необходимо заметить, что название проблемы, по сути, должно соответствовать названию самой диссертационной работы.

Естественно, что при небольшом опыте научной работы у магистранта недостает перспективы видения, чувства актуальности, умения терминологически правильно и кратко выразить то, что он чувствует и понимает.

Научный руководитель поможет устранить такие затруднения.

Кроме перечисленного выше действены следующие меры:

– обратить особое внимание на смежные области знания: бывает, что на стыке двух научных дисциплин можно найти темы, которые, казалось, забыты и той, и другой отраслями науки, но имеют определенные исследовательские перспективы;

– обратиться к каталогу уже защищенных диссертаций в научной библиотеке или на кафедре;

– просмотреть научную периодику, специальные издания. Чем больше будет прочитано литературы по своей научной специальности, тем проще будет сориентироваться;

– большое значение имеет методологический аспект рассмотрения проблемы. Иногда его смена или новый угол зрения может стать темой научной разработки. Также при выборе и формулировании темы магистерской диссертации следует учитывать определенные требования.

Необходимо отметить, что все диссертации выполняются на актуальную тему, так как в них рассматриваются недостаточно изученные проблемы. Если магистрант выявляет несоответствия в предмете исследования, то он вполне может определить актуальность исследования. После обоснования актуальности темы диссертации можно переходить к определению цели и задач исследования [5].

### **6.3. Формулирование цели и задач исследования**

Цель исследования ориентирует на его конечный результат. Он может быть либо теоретико-познавательный, либо практически-прикладной. Задачи формулируют вопросы, на которые должен быть получен ответ для достижения цели исследования.

Цель и задачи исследования образуют логически взаимосвязанные цепочки, в которых каждое звено служит средством удержания других звеньев. Конечная цель исследования может быть названа его общей задачей.

Обозначенная проблема должна быть отражена в формулировке цели исследования во введении к диссертации.

Цель определяет тактику исследования, то есть последовательность конкретных исследовательских задач, посредством которых проблема может быть решена.

Вариант решения проблемы составляет само содержание диссертации. Первоначально он формируется в виде основной гипотезы исследования. Это пробное решение и его необходимо проверить и доказательно обосновать в тексте диссертации.

Итак, характер задачи зависит от содержания цели, а цель зависит от четкости формулирования проблемы. Цель предполагает разрешение проблемы исследования, задачи исследования определяют разные подходы к разрешению общей проблемы исследования.

*Объект* научного исследования – это определенный элемент реальности, который обладает реальными границами, относительной автономностью существования. Объект порождает проблемную ситуацию и избирается для изучения.

*Предмет* научного исследования – логическое описание объекта, избирательность которого определена предпочтениями исследователя в выборе точки мысленного обзора, аспекта или отдельных проявлений наблюдаемого сегмента реальности.

Предметом исследования в магистерской диссертации может стать какая-либо целостная составляющая объекта исследования. Каждый предмет исследования включает разнообразные аспекты. Причем каждый из них может быть самостоятельным предметом исследования.

Объект и предмет исследования как категории научного процесса соотносятся между собой как общее и частное. В объекте выделяется только его часть, которая служит предметом исследования. Именно на него направлено основное внимание магистранта, потому что предмет исследования определяет тему диссертационной работы, которая обозначается на титульном листе.

*Научные результаты.* Согласно п. 9 Положения ВАК, «Диссертация должна... содержать совокупность новых научных результатов и положений, выдвигаемых автором для публичной защиты... и свидетельствовать о личном вкладе автора в науку». *Научный результат* – это выраженный в том или ином виде фрагмент системы знаний и/или эффект от применения знаний.

В любом научном исследовании одни научные результаты по отношению к другим могут выступать в роли предваряющих (в том числе исходных) и/или вытекающих (в том числе итоговых).

*Научные положения* – это выраженные в виде четких формулировок теоретические результаты-идеи, имеющие научное объяснение, констатирующие свойства предмета исследования и/или указывающие способы их применения или реализации. К наиболее важным видам научных положений относятся доказательства, обоснования, объяснения, выводы, предложения, рекомендации.

Научные положения не исключают других научных результатов. Другие научные результаты в отличие от научных положений, обычно носят практическую направленность. Они представляют собой объекты научного творчества, являющиеся воплощениями научных результатов-идей, сформулированных в виде научных положений.

Такие результаты лежат в широком спектре – от теоретических до практических. Они выражаются в виде результатов методологического и предметного уровня: научных эффектов, результатов экспериментов, научного инструментария, устройств, технических и организационных систем.

Другие наиболее существенные научные результаты, выдвигаемые для защиты (не являющиеся научными положениями), представляют собой такие результаты, как модель, методика, метод, формульное соотношение и другие результаты, которые обычно носят научно-методический характер.

Формулировки наиболее значимых научных положений и других новых научных результатов, выдвигаемых для защиты, рекомендуется откорректировать после завершения работы над выводами по всем разделам диссертации.

Окончательные формулировки уже корректируются на основе взятых в обобщенном виде тех выводов и их элементов, которые, во-первых, являются ключевыми с точки зрения достижения общей цели диссертационного исследования, во-вторых, потребовали наибольшего научного творчества и наибо-

лее сложного научного обоснования или доказательства, а в-третьих, обладают наибольшей научной актуальностью, новизной и значимостью.

При необходимости результат, заслуживающий внимания, может быть охарактеризован конкретным понятием: при полной научной новизне («впервые рассмотренный», «не имеющий аналогов», «оригинальный») или конкретизирующим понятием при частичной научной новизне («модифицированный», «усовершенствованный» и др.).

Следует стремиться к тому, чтобы наиболее существенные научные положения и другие новые научные результаты взаимно дополняли друг друга, поясняя сущность и результаты конкретного диссертационного исследования.

*Научная новизна* диссертационного исследования – это признак, наличие которого дает автору право на использование понятия «впервые» при характеристике полученных им результатов и проведенного исследования в целом. В науке данное понятие и означает факт отсутствия подобных результатов до публикации результатов, полученных автором той или иной научной разработки.

Оценка научной новизны исследования означает выявление первенства автора в определении и исследовании той или иной темы диссертационного исследования. Для оценки научной новизны диссертационного исследования используют некоторые признаки. Для большого числа наук существенным признаком является наличие теоретических положений, которые впервые сформулированы и содержательно обоснованы; методических рекомендаций, которые внедрены в практику и оказывают существенное влияние на достижение новых социально-экономических результатов.

Новыми считаются только те положения диссертационного исследования, которые способствуют дальнейшему развитию науки в целом и отдельных ее направлений.

К признакам новизны также относят: анализ и обобщение новых явлений, выявление тенденций, закономерностей современного развития тех или иных отраслей науки и наличие выводов и рекомендаций, обладающих науч-

ной ценностью и практической значимостью для различных сфер деятельности.

Если научные разработки исследователя содержат формулировки, обоснования понятий и их отдельных элементов, углубляющих понимание процессов, то он вправе претендовать на новизну.

Важной является работа магистранта по использованию новых методов исследования в различных сферах деятельности.

*Практическая значимость.* Понятие «практическая значимость» отражает реализацию научной новизны и свидетельствует об оправданности, необходимости выполнения диссертационных исследований, позволяющих что-то создать или улучшить, то есть получить определенный эффект. Практическая значимость свидетельствует о перспективности использования конечного результата диссертационного исследования.

Если результат исследования не материален, то практическая значимость его результатов способствует расширению знаний и их применению в определенной области. Практическая значимость диссертационной работы определяет возможность использования полученных автором результатов в той или иной области науки, производства. Практическая значимость может проявиться в публикациях основных результатов исследования: в научных статьях, монографиях, учебниках; в наличии патентов, актов о внедрении результатов исследования в практику; апробации результатов исследования на научно-практических конференциях; в использовании научных разработок в учебном процессе высших и средних специальных учебных заведений и т.д.

*Научный текст* диссертации (*основная часть*). Эта часть диссертационной работы представляет собой научно обоснованный и систематизированный материал исследований, отвечающий поставленным целям и задачам. Научный текст диссертации характеризуется использованием опубликованных материалов, точных сведений и фактов, логикой изложения, а также научно обоснованных положений, результатов и выводов.

Предложенные магистрантом новые методологические и методические решения должны быть строго аргументированы и критически оценены по сравнению с другими известными научно-практическими положениями. Не нужно забывать, что при написании научного текста диссертации необходимо давать ссылки на источники научной и другой информации.

Количество глав зависит от характера магистерской диссертации. В диссертации должно быть 3 или 4 главы.

В первой главе обычно приводят результаты научного обзора различных концепций, научных подходов и взаимосвязей элементов систем, методических позиций. Магистрант кратко описывает содержание этапов развития научных представлений ученых о рассматриваемой проблеме. В процессе научного анализа научных работ магистрант аргументированно описывает достоинства основных научных положений и факторы, влияющие на их развитие.

*Первая глава*, по сути, является *теоретической частью* диссертационной работы и служит основой для подготовки второй – аналитической и третьей – практической глав диссертации.

Во *второй главе* диссертации магистрант проводит анализ полученных экспериментальных, расчетных данных и других материалов, позволяющих обосновать проблему, аргументировать выводы и необходимость решения поставленных задач. В этой главе также анализируется состояние предметной области. Аргументируется необходимость развития существующей практики решения поставленных задач, использования методики и технологии для их решения.

В *третьей главе* приводятся разработанные методические инструменты, алгоритмы, позволяющие решить поставленные задачи и достичь цели диссертационного исследования. Обосновывается внедрение в практику моделей или методических инструментов.

Между главами диссертации должна быть органическая внутренняя связь, материал внутри глав должен излагаться в логической последователь-



ности. Каждая глава может быть закончена краткими выводами. Эти выводы можно представить, как итоговый синтез полученных результатов исследования. *Выводы* должны быть с конкретными данными о наиболее существенных результатах.

*Заключение.* Диссертационная работа завершается заключительной частью. В заключении приводятся результаты достижения поставленной цели и решения задач диссертационного исследования. Заключение включает в себя обобщение всей информации, изложенной в основной части магистерской диссертации, разработанные автором научные положения, выводы, рекомендации.

Последовательность изложения определяется логикой построения диссертационного исследования. Также в заключении раскрываются основные аспекты практического опробования разработанных научно-методологических и методических положений, приводятся основные направления и рекомендации дальнейшего развития данной темы в соответствующей научной области. Список использованной литературы.

После заключения приводится *список использованной литературы*. В него входит перечень литературных источников, использованных автором в ходе работы над темой. Каждый включенный в список литературный источник необходимо отразить в диссертации. Не стоит включать в библиографический список те источники, на которые нет ссылок в тексте, которые не использовались, а также энциклопедии, справочники, научно-популярные книги, газеты [5].

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое диссертация и магистерская диссертация?
2. Как происходит построение гипотезы?
3. Какие требования предъявляются к определению темы?
4. Какова структура магистерской диссертации?

5. Что такое объект и предмет научного исследования?
6. Как оценить научную новизну исследования?
7. Что входит в основную часть диссертации?
8. Чем характеризуются научные положения?
9. Какие основные характерные черты аргументации вам известны?
10. Сколько глав включает диссертация? Какова их структура?

## Библиография

1. Программа фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021 - 2030 годы) // распоряжение Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2020 г. № 3684-р. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_373604/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_373604/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/)
2. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология научного исследования. – М.: Либроком, 2010. – 280 с.
3. Крампит А.Г., Крампит Н.Ю. Методология научных исследований. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2008. – 164 с.
4. Коробко В.И. Основы научных исследований: курс лекций: учеб. пособие для студентов строительных специальностей. – М.: АСВ, 2000. – 218 с.
5. Герасин А.Н., Отварухина Н.С. Магистерская диссертация: учеб. пособие для магистрантов / Мос. гос. ин-т управл. – М., 2010. – 56 с.
6. Крампит А.Г. Методология научных исследований: учеб. пособие. – Юрга: Изд-во ЮТИ ТПУ, 2006. – 240 с.
7. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология. – М.: Синтег, 2007.
8. Кузнецов И.Н. Научное исследование. – М.: Дашков и К°, 2004. – 432 с.
9. Кузнецов И.Н. Научные работы: методика подготовки и оформления. – Минск, 2000.
10. Дегтярев Ю.И. Системный анализ и исследование операций. – М.: Высш. шк., 1996.
11. Кочергин А.Н. Методы и формы познания. – М.: Наука, 1990.
12. Белкин П.Г., Емельянов Е.Н., Иванов М.Н. Социальная психология научного коллектива. – М.: Наука, 1987.
13. Корюкова А.А. Дери. В.Г. Основы научно-технической информации. – М., 1985.
14. Кайдаков С.В. Проблема деятельности ученых и научных коллективов. – М., 1981.
15. Криница П.Л. Эксперимент, теория, практика. – М., 1977.
16. Урванцев Б.А. Порядок и нормы. – М.: Изд-во стандартов, 1991.
17. Тюлин Н.И. Введение в метрологию. – М., 1970.
18. Цаплин, А.И. Основы научных исследований в технологии машиностроения: учеб. пособие / А.И. Цаплин. – Пермь: Изд-во Перм. нац. иссл. политехн. ун-та, 2014. – 228 с.
19. ГОСТ 16263-70. Метрология. Термины и определения.
20. ГОСТ 8.009-84. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
21. ГОСТ 8.002-86\*. Государственный надзор и ведомственный контроль за средствами измерений. Основные положения.

## Содержание

Введение.....	4
1. Методологические основы научного исследования.....	7
1.1 Законы развития техники.....	10
1.2. Процесс научного исследования .....	12
1.3. Методы исследований.....	13
1.4. Системный анализ как метод научных исследований.....	17
1.5. Направление и этапы научного исследования.....	20
1.6. Работа с научной информацией.....	25
1.7. Электронные формы информационных ресурсов.....	28
Вопросы для самоконтроля.....	31
2. Теоретические исследования.....	32
2.1. Цель и задачи теоретического исследования.....	32
2.2. Общенаучные методы и методы творческого мышления при теоретических исследованиях.....	34
2.3. Математические методы в исследованиях.....	35
2.4. Классификация математических моделей.....	37
2.5. Этапы разработки математических моделей.....	38
Вопросы для самоконтроля.....	39
3. Основные понятия стохастического моделирования.....	40
3.1. Моделирование в условия неопределенности.....	40
3.2. Функция и плотность распределения случайной величины.....	42
3.3. Меры положения и рассеяния кривой распределения.....	49
3.4. Теоретические законы распределения.....	54
3.4.1. Закон нормального распределения (закон Гаусса).....	54
Глава 4. Экспериментальные исследования .....	61
4.1. Методы экспериментальных исследований.....	61
4.2. Методика и планирование эксперимента.....	70
4.3. Метрологическое обеспечение экспериментальных исследований..	75
	140

4.4. Организация рабочего места экспериментатора.....	83
4.5. Влияние психологических факторов на ход и качество эксперимента..	86
Вопросы для самоконтроля.....	89
Глава 5. Обработка результатов экспериментальных исследований.....	90
5.1. Основы теории случайных ошибок и методов оценки случайных погрешностей в измерениях .....	90
5.2. Интервальная оценка измерений с помощью доверительной вероятности.....	91
5.3. Методы графической обработки результатов измерений .....	108
5.4. Оформление результатов научного исследования.....	111
5.5. Устное представление информации .....	120
5.6. Изложение и аргументация выводов научной работы.....	123
Вопросы для самоконтроля .....	126
Глава 6. Понятие и структура магистерской диссертации.....	127
6.1. Понятие и признаки магистерской диссертации.....	127
6.2. Структура магистерской диссертации.....	129
6.3. Формулирование цели и задач исследования.....	131
Вопросы для самоконтроля .....	137
Библиография.....	139
Содержание.....	140

Александр Викторович Кузьмин  
Владимир Афанасьевич Беломестных  
Алексей Валерьевич Шистеев

НАУЧНЫЕ МЕТОДЫ  
В РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Учебное пособие

Лицензия на издательскую деятельность

ЛР№ 070444 от 11.03.98 г.

Подписано в печать \_\_.\_\_.2021 г.

Тираж 500 экз.



Издательство Иркутского государственного  
аграрного университета им. А.А. Ежевского  
664038, Иркутская обл., Иркутский р-н,  
пос. Молодежный