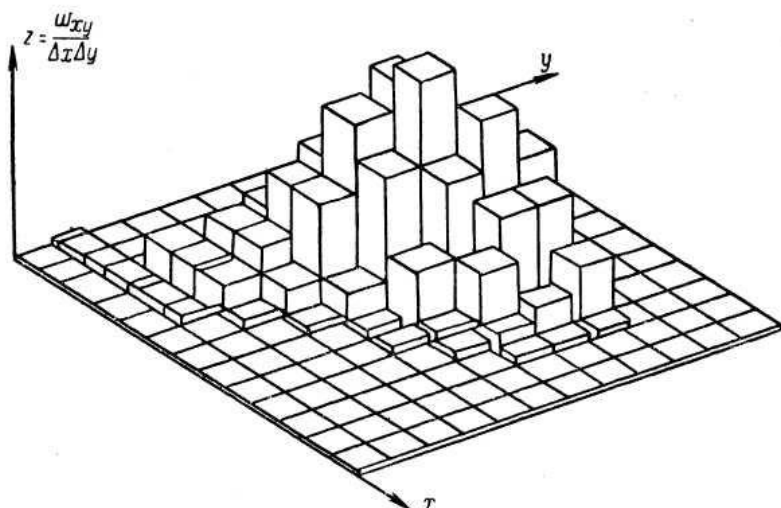


ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

М. В. Назарова, В. Ю. Романов



Учебное пособие

РПК «Политехник» Волгоград 2007

Содержит основные сведения об организации научно-исследовательской работы, ее этапах и методологии.

Даются рекомендации по подготовке научных докладов, курсовых и дипломных работ. Предлагается необходимая справочная информация.

Предназначено для студентов СПО специальности 2802 (код ОКСО 260704.51)

Составители: Маргарита Владимировна Назарова, Владимир Юрьевич Романов

ВВЕДЕНИЕ

В ст. 16 Федерального закона от 22 августа 1996 г. «О высшем и послевузовском профессиональном образовании» закреплены многочисленные права студентов вузов, в том числе и право принимать участие во всех видах научно-исследовательских работ, конференциях, симпозиумах, а также представлять свои работы для публикации, в частности в изданиях высшего учебного заведения. Здесь же записано, что студенты вузов обязаны овладеть знаниями, выполнять в установленные сроки все виды заданий, предусмотренных учебным планом и образовательными программами высшего профессионального образования. В Законе не предусмотрена обязанность студентов заниматься научно-исследовательской работой. Тем не менее они должны выполнять те виды заданий, которые содержат элементы научного исследования и включены в учебный план или планы занятий по дисциплине. К их числу относятся реферат, доклад, курсовая работа, дипломная работа, магистерская диссертация.

Чтобы выполнить вышеперечисленные работы, студенту необходимо уметь:

- выбрать тему и разработать план исследования;
- определить оптимальные методы исследования;
- отыскивать научную информацию и работать с литературой;
- собирать, анализировать и обобщать научные факты, материалы судебной и иной практики;
- теоретически проработать исследуемую тему, аргументировать выводы, обосновывать предложения и рекомендации;
- оформить результаты научной работы.

Понятие «научно-исследовательская работа студентов» (НИРС) включает в себя два элемента: 1) обучение студентов элементам исследовательского труда, привитие им навыков этого труда; 2)

собственно научные исследования, проводимые студентами под руководством профессоров и преподавателей.

НИРС является продолжением и углублением учебного процесса, одним из важных и эффективных средств повышения качества подготовки специалистов с высшим образованием.

Целью научной работы студентов является переход от усвоения готовых знаний к овладению методами получения новых знаний, приобретение навыков самостоятельного анализа технологических процессов с использованием научных методик.

Основные задачи научной работы студентов:

- а) развитие творческого и аналитического мышления, расширение научного кругозора;
- б) привитие устойчивых навыков самостоятельной научно-исследовательской работы;
- в) повышение качества усвоения изучаемых дисциплин;
- г) выработка умения применять теоретические знания и современные методы научных исследований в трудовой деятельности.

Научная работа студентов подразделяется на учебно-исследовательскую, включаемую в учебный процесс и проводимую в учебное время (УИРС), и научно-исследовательскую, выполняемую во внеучебное время (НИРС).

Учебно-исследовательская работа выполняется студентами по учебным планам под руководством профессоров и преподавателей. Формы этой работы:

- а) реферирование научных изданий, подготовка обзоров по новинкам литературы;
- б) выступление с научными докладами и сообщениями на семинарах;
- в) написание курсовых работ, содержащих элементы научного исследования;
- г) проведение научных исследований при выполнении дипломных работ;
- д) выполнение научно-исследовательских работ в период учебной практики и стажировки.

Научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеучебное время, включает:

- а) работу в научных кружках и проблемных группах, создаваемых при кафедрах;
- б) участие в научно-исследовательских работах по кафедральным темам;
- в) выступления с докладами и сообщениями на научно-теоретических и научно-практических конференциях, проводимых в вузе;
- г) участие во внутривузовских, межвузовских, региональных и республиканских олимпиадах и конкурсах на лучшую научную работу;
- д) подготовка публикаций по результатам проведенных исследований;
- е) разработка и изготовление схем, таблиц, слайдов, фильмов, наглядных пособий для учебного процесса;
- ж) изучение и обобщение передового опыта работы текстильных предприятий.

Формами реализации УИРС и НИРС выступают: реферат, доклад, сообщение на конференции или заседании научного кружка, конкурсная работа, публикация, наглядные пособия для учебного процесса, курсовая работа, дипломная работа, магистерская диссертация и др.

Основная форма организации НИРС – студенческий научный кружок при кафедре. Главным содержанием деятельности кружка является выполнение во внеучебное время научных исследований по определенной кафедрой тематике.

Все это должно помочь студентам глубоко усвоить различные дисциплины, выработать способность творчески мыслить, научиться самостоятельно выполнять хотя бы небольшие научно-исследовательские работы, анализировать и обобщать необходимый материал.

1. ВИДЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Научно-исследовательские работы подразделяются на:

теоретические, экспериментальные, теоретико-экспериментальные.

В **теоретических** работах на основе аналитических исследований физической сущности изучаемого процесса (явления) с использованием известных законов физики устанавливаются его закономерности и прогнозируются оптимальные условия осуществления действующего или вновь создаваемого процесса.

В **экспериментальных** работах все перечислимые выше задачи решаются экспериментальным путем. Сочетание теоретических и экспериментальных частей научно-исследовательской работы способствует более глубокому решению задачи исследования.

По своим задачам научно-исследовательские работы в текстильной промышленности подразделяются на следующие виды:

1. Теоретико-экспериментальные работы, раскрывающие закономерности технологических процессов и определяющие оптимальный режим работы машин и механизмов с целью повышения эффективности процессов, улучшения качества продукции, совершенствования конструкции машин и автоматизации производства.
2. Экспериментальные работы по испытанию вновь созданных текстильных машин с целью определения надежности и долговечности работы их устройств и механизмов, удобства обслуживания, производительности и качества вырабатываемого продукта.
3. Поисковые исследовательские работы, направленные на разработку новых технологических процессов на основе более эффективного использования известных и широко применяемых в промышленности видов энергии – механической, аэродинамической, тепловой, а также на основе новых принципов использования этих и других видов энергии и применения достижений современной физики.
4. Поисковые работы, направленные на создание новых текстильных материалов и нового ассортимента нитей, пряжи, ткани, трикотажа и других изделий, работы по рациональному использованию натуральных и химических волокон, пряжи и нитей.
5. Исследовательские работы по изучению факторов, определяющих качество и эксплуатационные свойства изделий, а также работы по улучшению методов испытания материалов и разработке новых методов и приборов с целью создания новых стандартов или технических нормативов.
6. Работы, направляемые на разработку новых методов исследования технологических процессов и средств для измерения параметров, характеризующих процесс.

Экспериментальные исследовательские работы в зависимости от условий проведения принятого объема делятся на лабораторные и производственные.

Лабораторные исследования отличаются малым объемом используемого сырья и малым фронтом наблюдения, т. е. меньшим числом устройств (например, веретен, прядильных камер, мотальных головок и т. п.) и машин, которые используются в исследованиях.

В поисковых экспериментальных работах лабораторные исследования могут быть *модельные* и *стендовые*. В результате лабораторных исследований из исследований из большого вариативных станков отбирают один или несколько наиболее приемлемых и создают экспериментальный

образец машины, который подвергают исследованию в лабораторных условиях. Затем проектируют и изготавливают производственный образец машины для испытания в промышленности и сдачи Государственной комиссии. Проектирование экспериментального и производственных образцов машин, как правило, осуществляется в специальных конструкторских бюро и проектных институтах.

2. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И МЕТОДОВ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ

Технологические процессы текстильной промышленности представляют собой сложный комплекс физических и химических явлений, который можно изучить только с применением современных достижений науки и техники.

Основные особенности процессов текстильной промышленности следующие:

1. использование в прядильном, ткацком и трикотажном производстве большой массы неравномерных и неоднородных по свойствам текстильных материалов (волокон, нитей, полотен, тканей);
2. изменение с течением времени свойств сырья

Всё это осложняет исследование технологических процессов и обуславливает применение массового испытания сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, а также увеличение числа замеров параметров, характеризующих процесс. Кроме того, необходимость количественной оценки массовых испытаний требует широкого применения методов математической статистики.

Многие процессы математической технологии текстильных материалов по своей физической сущности базируются на вероятностных схемах и имеют закономерности, присущие случайным событиям массового характера, которые выявляются с помощью методов теории вероятности.

3. В настоящее время наиболее массовые производства текстильной промышленности являются в основном дискретными, так как на каждом переходе производства получаемый продукт формируется в паковку определенного вида. И только производство нетканых материалов и отдельные этапы прядильного и ткацкого производства являются непрерывно-поточными. Непрерывность технологических и производственных процессов, а также получаемых продуктов служит основанием для применения в исследованиях методов теории случайных функций и статической динамики.
4. Не стационарность некоторых технологических процессов и наличие дрейфа главнейших их параметров, релаксационные явления в текстильных материалах и изменчивость атмосферных условий в производстве осложняют исследование технологических процессов и обуславливают применение специальных статических и других методов исследования.
5. Быстрое протекание некоторых технологических процессов текстильной промышленности затрудняет визуальное наблюдение и регистрацию основных параметров процесса требует применения высокоскоростной техники регистрации.
6. Закрытые зоны машин и малые размеры рабочих органов также затрудняют непосредственное наблюдение за протеканием технологического процесса и обуславливают использование специфичных для данных процессов технических средств и методов исследований.

Для исследования структуры продуктов текстильной промышленности, т. е. расположения в них волокон элементов (участков) нитей и регистрации их перемещения, применяются различные виды индикаторов (радиоактивные, флуоресцентные и др.). Отсутствие измерительных элементов, датчиков и приборов, а также методик для определения многих важных характеристик

текстильных продуктов затрудняет проведение экспериментальных исследовательских работ.

Все указанные выше особенности механико-технологических процессов требуют от исследователя широких знаний методов и средств исследований, существующих не только в текстильной промышленности, но и в других отраслях промышленности и науки.

3. ЭТАПЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ [НИР]

Любая научно-исследовательская работа состоит из ряда этапов, протекающих последовательно во времени. Каждый этап имеет самостоятельное значение и является объектом планирования и финансирования. В некоторых случаях – когда НИР выполняются по договору – отдельные этапы работы сдаются заказчику. Деление работы на этапы имеет важное значение для организации и планирования НИР в институтах и планирующих органах.

Теоретико-экспериментальные работы в текстильной промышленности обычно включают следующие типовые этапы:

1. Выбор и обоснование темы.
2. Подготовительный этап.
3. Теоретический анализ технологического процесса.
4. Подготовка и проведение технологического процесса.
5. Проведение систематического основного эксперимента.
6. Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований, выводы и предложения по работе с экономическим обоснованием.

Экспериментальные работы по испытанию текстильных машин содержат все перечисленные выше этапы, кроме первого.

Поисковые исследовательские работы могут включать следующие типовые этапы:

1. Подготовительный этап.
2. Разработка теоретической части темы.
3. Испытание моделей и внесение коррективов в конструкцию и технологию.
4. Проектирование и изготовление стендов (макетов).
5. Подготовка и проведение предварительного эксперимента.
6. Проведение систематического эксперимента.
7. Анализ результатов испытаний, теоретических и экспериментальных исследований, выводы и предложения.
8. Разработка технического задания на проектирование экспериментального образца машины.

Необходимо отметить, что поисковые исследовательские работы имеют ряд особенностей, которые следует учитывать при составлении тематических планов НИР. Они обычно сопряжены с творческим риском, использованием метода «проб и ошибок», корректировкой гипотез, а иногда выдвижением новых гипотез и моделей процесса с соответствующим конструктивным оформлением.

Приведенная выше последовательность этапов поисковых исследовательских работ предполагает успешное решение проблемы. Однако часто возникающие при проведении поисковых работ трудности могут привести не только изменению первоначально принятого плана исследования и исключению некоторых типовых этапов, но и к включению нетрадиционных этапов и особых исследований. Поэтому для поисковых НИР рекомендуется составлять план исследований, включающий укрупненные этапы, которые определяются спецификой намечаемого исследования.

Научно-исследовательские работы, посвященные разработке технологических условий для

рационального использования сырья (натурального и химического) и нового ассортимента текстильных материалов, обычно имеют следующие типовые этапы:

1. Подготовительный этап.
2. Разработка теоретической части темы.
3. Подготовка и проведение предварительного эксперимента.
4. Проведение систематического эксперимента.
5. Анализ результатов, разработка оптимального технологического режима работы машин в производстве, выбор оптимального сырья и структуры материалов.

Научно-исследовательские работы, включающие цикл материаловедческих исследований, содержат следующие типовые этапы:

1. Подготовительный этап.
2. Теоретическое исследование.
3. Подготовка и проведение предварительного эксперимента.
4. Проведение систематического эксперимента.
5. Анализ результатов, разработка технического задания на проектирование экспериментального образца прибора или создание проекта государственного стандарта, технических условий или других нормативов.

Научно-исследовательские работы, направленные на разработку методов и средств для исследования технологических процессов, содержат те же этапы, что поисковые исследовательские работы.

Необходимо отметить, что часто по каждому законченному этапу научной работы исполнитель составляет и оформляет отчет. Поэтому увеличение числа этапов относительно типовых и чрезмерная их детализация нецелесообразны, так как это приводит не только к искусственному удлинению сроков выполнения работ, но и усложняет отчетность.

Очевидно, что все этапы НИР взаимосвязаны. Последний этап лабораторных исследований является первым этапом производственных исследований, потому что выводы и предложения первых формулируют задачи и методику последующих производственных исследований. Для производственных исследований, которые по существу представляют собой производственную проверку и внедрение результатов лабораторных исследований, последний этап является переходным к нормальной фабричной эксплуатации и может быть оформлен в виде соответствующего акта сдачи работы заказчику.

Представляется необходимым сначала дать общую характеристику каждому этапу научно-исследовательской работы, а затем более подробно рассмотреть те из них, которые имеют важное значение для выполнения научных исследований студентами.

^ Подготовительный этап включает: выбор темы; обоснование необходимости проведения исследования по ней; определение гипотез, целей и задач исследования; разработку плана или программы научного исследования; подготовку средств исследования (инструментария).

Вначале формулируется тема научного исследования и обосновываются причины её разработки. Путем предварительного ознакомления с литературой и материалами ранее проведенных исследований выясняется, в какой мере вопросы темы изучены и каковы полученные результаты. Особое внимание следует уделить вопросам, на которые ответов вообще нет либо они недостаточны. Составляется список нормативных актов, отечественной и зарубежной литературы, картотека опубликованной судебной практики. Разрабатывается методика исследования. Подготавливаются средства НИР в виде анкет, вопросников, бланков интервью, программ наблюдения и др.

^ *Исследовательский этап* состоит из систематического изучения литературы по теме, статистических сведений и архивных материалов; проведения теоретических и эмпирических исследований; обработки, обобщения и анализа полученных данных; объяснения новых научных фактов, аргументирования и формулирования положений, выводов и практических рекомендаций и предложений.

^ *Третий этап* включает: определение композиции (построения, внутренней структуры) работы; уточнение заглавия, названий глав и параграфов; подготовку черновой рукописи и её редактирование; оформление текста, в том числе списка использованной литературы и приложений.

^ *Четвертый этап* состоит из внедрения результатов исследования в практику и авторского сопровождения внедряемых разработок. Научные исследования не всегда завершаются этим этапом, но иногда научные работы студентов (например, дипломные работы) рекомендуются для внедрения в текстильное производство и в учебный процесс.

4. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

Подготовительный этап НИР включает следующие работы:

1. Составление библиографии по теме, изучение литературы и других материалов, относящихся к теме.
2. Предварительное знакомство с объектом исследования, его структурой и особенностями.
3. Изучение физической основы технологического процесса.
4. Определение круга вопросов, подлежащих изучению, формулирование задач исследования и обоснование необходимости постановки работы на выбранную тему.
5. Составление методической и рабочей программ НИР.

4.1. Выбор темы научного исследования

Тема научно-исследовательской работы может быть отнесена к определенному научному направлению или к научной проблеме. Под *научным направлением* понимается наука, комплекс наук или научных проблем, в области которых ведутся исследования.

Научная проблема – это совокупность сложных теоретических и (или) практических задач; совокупность тем научно-исследовательской работы.

Научная тема – это сложная, требующая решения задача. Темы могут быть теоретическими, практическими и смешанными.

Считается, что правильный выбор темы работы наполовину обеспечивает успешное ее выполнение.

Для начинающего исследователя выбор темы научной работы представляет довольно сложную задачу. Однако этот выбор значительно облегчается, если исследователь знаком с состоянием и путями развития техники и технологии текстильной промышленности, участвует в работах различных научных конференций и совещаний, обращает внимание на вопросы, требующие разрешения, знакомится с тематическими планами отраслевых научно-исследовательских институтов, где могут быть указаны темы или вопросы, пригодные для изучения в его научной работе. Тему для своей работы исследователь может найти также в списках тем, которые предлагаются различными хозяйственными (министерствами, управлениями, комбинатами, предприятиями) и общественными (научно-техническим обществом и др.) организациями для выполнения по конкурсу.

При выборе темы научной работы необходимо учитывать следующие соображения, которые в большей степени определяют успех работы:

- 1) склонности, подготовку и знания исследователя. Исследователю, имеющему большую склонность к теоретическим исследованиям, целесообразнее выбирать тему теоретической работы. Если же исследователь проявляет большой интерес и склонность к конструированию и изобретению, то лучше выбирать тему поисковой работы;
- 2) материальные возможности (наличие оборудования, приборов, сырья, подготовленных кадров и объем финансирования) для проведения исследовательской работы и сроки ее выполнения;
- 3) актуальность темы, т. е. ее соответствие направлению развития науки, техники и технологии текстильной промышленности, а также современным запросам промышленности;
- 4) необходимость поручения больших по объему и сложных тем научной работы более опытным исследователям. Следует подчеркнуть, что даже самая маленькая научная работа и узкая тема, если они разработаны глубоко всесторонне и способствуют прогрессу науки и техники, несомненно заслуживают внимание исследователя.

Темы курсовых и выпускных квалификационных работ определяются кафедрами. Тематика должна соответствовать программам курсов учебных дисциплин и учебным планам. При ее составлении целесообразно учитывать сложившиеся на кафедрах научные направления и возможность обеспечения студентов квалифицированным научным руководством. Желательно добиваться того, чтобы темы обладали актуальностью, новизной, практической и теоретической значимостью.

Темы выпускных квалификационных работ должны доводиться до сведения студентов в начале последнего года обучения, но не позднее, чем за полгода до начала итоговой аттестации. Студентам предоставляется право выбора темы вплоть до предложения своей с необходимым обоснованием ее разработки. При выборе темы рекомендуется учитывать: ее актуальность, новизну, теоретическую и практическую значимость, соответствие профилю работы после окончания вуза, наличие или отсутствие литературы и практических материалов, наработки самого студента по теме в виде курсовых работ и научных докладов, а также интерес студента к выбранной теме, его субъективные возможности провести необходимые исследования.

Выбор темы могут облегчить консультации с преподавателями и профессорами, ознакомление с литературой по избранной специальности, пересмотр уже известных положений и выводов под новым углом зрения.

Выбрав тему письменной работы, студенту необходимо встретиться с предполагаемым научным руководителем и получить его согласие на руководство ее выполнением.

По отдельным частям работы, если, например, в ней будут рассматриваться междисциплинарные вопросы, относящиеся к различным отраслям текстильной промышленности, дипломнику могут быть назначены научные консультанты.

После выбора темы необходимо составить библиографию по теме. Для того чтобы легче было найти необходимую литературу рекомендуется ознакомиться со следующими информационными изданиями: реферативным журналом по текстильной технологии и оборудованию Всесоюзного института научной и технической информации, справочниками, библиотеками различных текстильных университетов., а также библиографическими отделами в таких иностранных журналах, как *The Journal of the textile Institute*, *Melli and Textilberichte*, *Textile praxis*, *Textile Institute Paris* и др.

Исследователь должен ознакомиться и со списками работ, которые приводятся в диссертационных работах и статьях по выбранной теме. Кроме того, список необходимой литературы исследователь может составить сам, используя метод «цепочки». Сущность этого метода заключается в том, что, изучая первую статью, книгу, диссертацию или отчет по НИР, можно обнаружить ссылки на литературу по теме, а в последующих статьях – на другие источники и т. д.

При изучении литературы и других источников исследователь должен:

- 1) установить, какие стороны выбранной темы к настоящему времени остались неясными и требуют проверки, что необходимо вновь изучить для решения поставленной цели в работе, какие методы и средства использовались в исследованиях и какие методы обработки результатов исследований применялись;
- 2) обратить внимание на оригинальные взгляды и интересные идеи, которые вызваны исследователями, но экспериментально не проверены;
- 3) изучить теоретические представления и модели исследуемых процессов в родственных и смежных отраслях техники. Например, при исследовании процесса смешивания в хлопкопрядильном производстве исследователю целесообразно познакомиться с теоретическими и экспериментальными методами исследования этого процесса в шерстопрядильном производстве, а также в химической, пищевой и других отраслях промышленности.

При изучении литературных источников исследователь обдумывает и намечает направления своей работы; определяет, какие вопросы необходимо исследовать и какие экспериментальные методы исследования необходимо использовать, чтобы получить новые и уточнить ранее установленные закономерности.

4.2. Планирование научно-исследовательской работы

Планирование научно-исследовательской работы имеет важное значение для ее рациональной организации.

Научно-исследовательские организации и образовательные учреждения разрабатывают планы работы на год на основе целевых комплексных программ, долгосрочных научных и научно-технических программ, хозяйственных договоров и заявок на исследования, представленных заказчиками.

В научно-исследовательских и образовательных учреждениях по темам научно-исследовательских работ составляются методические и рабочие программы их выполнения. При подготовке монографий, учебников, учебных пособий и лекций разрабатываются планы-проспекты этих работ.

Методическая программа НИР и ее содержание. Методическая программа является основным документом НИР, который составляется на основе изучения литературы и предварительного знакомства с объектом исследования в лаборатории или на производстве, а также предварительного изучения физической сущности технологических процессов, осуществляемых в этом объекте. От тщательности проработки содержания этого важного документа в большей мере зависит успех и своевременность выполнения НИР.

Методическая программа должна содержать:

- 1) четкую и исчерпывающую тему работы;
- 2) определение цели работы, а также предполагаемых результатов;
- 3) причины, вызвавшие постановку данной работы, и обоснование целесообразности ее проведения как с научно-технических, так и с экономических позиций;

- 4) краткое изложение и критический анализ материалов научных работ и литературных источников, имеющих как в СССР, так и за границей, по выполняемой исследователем теме с целью определения состояния данного вопроса в отечественной и мировой технике во избежание повторения и для учета накопленного опыта и знаний по изучаемому вопросу;
- 5) построение рабочей модели, объекта или процесса (явления) и обоснование;
- 6) схему разработки данной темы поэтапно (перечень этапов);
- 7) условие, матрицу планирования и методику проведения эксперимента, а также методику испытания материалов;
- 8) метод обработки результатов, наблюдений и испытаний, метод обобщения этих результатов и построения выводов;
- 9) методику подсчета экономической эффективности работы (если необходимо).

Теоретические положения по изучаемому вопросу должны служить основанием для построения рабочей модели объекта или процессов. В зависимости от характера исследования в его программу необходимо включать разделы или этапы теоретического характера, позволяющие обосновать теоретические выводы и рекомендации по усовершенствованию или созданию новых технологических процессов, приборов, машин и т. п. Теоретической разработке может предшествовать экспериментальная работа, и наоборот.

В научно-исследовательских работах теоретического характера разработка вопроса должна иметь ярко выраженную направленность на приложение полученных данных к решению практических задач в настоящее время или в будущем. В поисковых работах вследствие новизны разрабатываемого вопроса и недостаточности отправных данных рекомендуется проведение разведочных экспериментов, которые могут помочь в построении рабочей модели объекта или процесса и разработке методики проведения работы.

Исследование свойств сырья и получаемых продуктов необходимо проводить одновременно с экспериментальным исследованием процесса или работы машины, так как их результаты могут указать на необходимость пересмотра плана и условий исследования, их изменений или дополнений.

Этапы исследовательской работы должны быть различны по содержанию. В работах большого объема, если характер исследования это позволяет, могут быть этапы или их разделы, проводимые параллельно. При проведении исследования первыми следует выполнять наиболее важные этапы, имеющие самостоятельный интерес. Результаты, полученные на этих этапах, могут повлиять на ход последующей работы, резко сократить ее объем или изменить направление.

В методической программе должны быть точно определены условия проведения эксперимента. Если в эксперименте используется известное оборудование, то его выбор необходимо обосновать. Так же надо обосновать используемое сырье, материалы, используемые приспособления и приборы. Если нет требуемого оборудования, приборов и приспособлений для проведения экспериментального исследования. То в методическую программу следует включать этап работы по созданию приборов или специальной экспериментальной установки, по возможности монтируемой из стандартных узлов и деталей. Это, конечно, усложняет выполнение исследовательской работы, но во многих случаях является необходимым ее этапом.

Содержание экспериментов и их объем должны быть полностью обоснованы и вытекать из задач исследования. Программа проведения эксперимента должна не только включать матрицу планирования опытов для каждого этапа исследования и обоснование объема опытов, но и обеспечивать наиболее простое решение поставленной задачи при минимальном количестве

вариантов, опытов и испытаний. Объем эксперимента по каждому варианту должен быть таким, чтобы выводы, полученные на основе его, были достаточно точными и достоверными.

При выполнении НИР по производствам, для которых разработаны условия достоверности экспериментов и испытаний, не следует отступать от этих условий без необходимости, особо оговоренной в программе. Если такие условия не разработаны, рекомендуется включать в программу специальные разделы методического характера или проводить эксперименты в начальной стадии работы так, чтобы выявить точность получаемых результатов и, исходя из них, обосновать объем последующих экспериментов. Если в работе необходимы контрольные варианты и контрольные исследования в целом, то это должно быть предусмотрено в методической программе.

Намечая методику экспериментального исследования, следует избегать простого шаблонного повторения опытов предшественников и предпочитать наиболее современные методы и аппаратуру, отвечающие поставленным задачам и обеспечивающие необходимую точность получаемых результатов и требуемую чувствительность.

При составлении методической программы исследователь должен выбирать не только методы получения информации о свойствах сырья и получаемого продукта, о значениях параметров технологического процесса или объекта, но и методы обработки этой информации, в том числе методы определения характеристик случайных величин и функциональных характеристик случайных функций, а также методы выделения скрытых периодичностей и обнаружение не стационарности процесса, если они будут выявлены.

При разработке методики проведения предварительного эксперимента необходимо указать методы, которые будут использованы для количественной оценки влияния каждого фактора на параметр процесса и свойства получаемого продукта с целью их ранжировки, а при разработке методики проведения систематического, т. е. основного, эксперимента – методы получения статической и динамической модели процесса, а также методы ее оптимизации. В зависимости от принятого метода получения математической модели процесса устанавливается план эксперимента, т. е. матрица планирования эксперимента.

Таким образом, каждому из указанных этапов исследования соответствуют определенные методы. Выбор методов определяется постановкой задачи исследования, свойствами объекта и характеристиками самих методов (при рассмотрении последующих этапов НИР будут указаны применяемые методы и раскрыта их сущность).

Всякий новый эксперимент должен быть шагом вперед по сравнению с предшествующими, даже если исследование носит поверочный характер. Не следует увлекаться применением приборов высокой чувствительности и излишней точностью результатов в тех случаях, когда в этом нет необходимости и практически высокая точность не реализуется. При использовании выбранного метода исследования необходимо проверить, не влияет ли он на ход технологического процесса или на природу изучаемого явления и не вызывает ли он каких-либо дополнительных процессов и изменения свойств продукта.

Исследователь должен убедиться, что изучаемая характеристика процесса или свойство продукта является единственным действующим фактором (переменной) в данном методе исследования или, по крайней мере, что другие действующие факторы исключены или учтены при проведении классического (однофакторного) эксперимента.

В том случае, когда имеются несколько средств исследования, необходимо выбирать, то которое позволяет фиксировать изменения характеристик процесса или свойств продукта и, являясь более

чувствительным, дает показания, которые легко могут быть зарегистрированы даже при малой чувствительности. Если при исследовании требуется изучение нескольких характеристик или свойств продукта, применение нескольких средств или методов исследования становится обязательным.

В некоторых случаях полезно применять для исследования не один, а два метода. Применение параллельных методов и средств исследования позволяет осуществить взаимный контроль получаемых результатов, выявить и устранить возможные ошибки отдельных методов. При выполнении комплексных работ различными исполнителями и на нескольких объектах (как оборудования, так и приборов) весьма важно обеспечить примерно одинаковую точность результатов испытания.

Методическая программа составляется ответственным исполнителем, затем после утверждения научным руководителем лаборатории или отдела она рассматривается на техническом совещании сотрудников лаборатории и представителей промышленности, окончательно утверждается научным руководителем института. При оценке методических программ исследовательских работ особое значение придается оригинальному подходу авторов к исследуемым вопросам, позволяющему сократить сроки работ или повысить их качество, и использование опыта других отраслей науки и техники.

^ **Рабочая программа НИР и ее содержание.** Рабочая программа – это план проведения научно-исследовательской работы. Она составляется в полном соответствии с методической программой с целью установления календарного плана выполнения НИР, определения полной ее стоимости, а также для контроля выполнения НИР по объему и по стоимости.

^ 4.3. Сбор научной информации

4.3.1 Основные источники научной информации

Под источником информации понимается документ, содержащий какие-либо сведения. К документам относят различного рода издания, являющиеся основным источником научной информации.

Источниками научной информации служат неопубликованные документы: диссертации, депонированные рукописи, отчеты о научно-исследовательских работах и опытно-конструкторских разработках, научные переводы, обзорно-аналитические материалы.

Все документальные источники научной информации делятся на первичные и вторичные.

Первичные документы содержат исходную информацию, непосредственные результаты научных исследований (монографии, сборники научных трудов, авторефераты диссертаций и т.д.), а вторичные документы являются результатом аналитической и логической переработки первичных документов (справочные, информационные, библиографические и другие тому подобные издания).

Нас в первую очередь интересуют издания, из которых может быть почерпнута необходимая для научно-исследовательской работы информация. Это научные, учебные, справочные и информационные издания.

^ Виды научных изданий

Научным считается издание, содержащее результаты теоретических и (или) экспериментальных исследований, а также научно подготовленные к публикации памятники культуры и исторические

документы. Научные издания делятся на следующие виды: монография, автореферат диссертации, препринт, сборник научных трудов, материалы научной конференции, тезисы докладов научной конференции, научно-популярное издание.

^ Виды учебных изданий

Учебное издание – это издание, содержащее систематизированные сведения научного или прикладного характера, изложенные в форме, удобной для преподавания и изучения, и рассчитанное на учащихся разного возраста и степени обучения. Виды учебных изданий: учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие и др.

^ Справочно-информационные издания

Справочное издание – издание, содержащее краткие сведения научного или прикладного характера, расположенные в порядке, удобном для их быстрого отыскания, не предназначенное для сплошного чтения. Это – словари, энциклопедии, справочники специалиста и др.

Информационное издание – издание, содержащее систематизированные сведения о документах (опубликованных, неопубликованных, непубликуемых) либо результат анализа и обобщения сведений, представленных в первоисточниках, выпускаемое организацией, осуществляющей научно-информационную деятельность, в том числе органами НТИ. Эти издания могут быть библиографическими, реферативными, обзорными.

Библиографическое издание – это информационное издание, содержащее упорядоченную совокупность библиографических записей (описаний). К таким изданиям относятся выпускаемые Российской книжной палатой государственные библиографические указатели Российской Федерации: «Книжная летопись», «Летопись журнальных статей», «Летопись газетных статей», «Летопись авторефератов диссертаций».

Реферативное издание – это информационное издание, содержащее упорядоченную совокупность библиографических записей, включающих рефераты. К ним относятся реферативные журналы, реферативные сборники, информационные листки и экспресс-информация.

Обзорное издание – это информационное издание, содержащее публикацию одного или нескольких обзоров, включающих результаты анализа и обобщения представленных в источниках сведений.

^ 4.3.2 Изучение литературы

Изучение литературы начинается с подбора и составления списка, учебников, учебных пособий, монографий, журнальных и газетных статей, патентной литературы, научных трудов. Необходимо просмотреть в библиотеках систематические, алфавитные и предметные каталоги, каталоги авторефератов диссертаций, журнальных и газетных статей.

В *алфавитном каталоге* названия книг (карточки) расположены в алфавитном порядке, который определяется по первому слову библиографического описания издания (фамилии автора или названию издания, автор которого не указан).

В *систематическом каталоге* карточки расположены по отдельным отраслям знаний в порядке, определяемом библиографической классификацией. Разновидностью такого каталога является каталог новых поступлений, в котором содержатся названия книг, поступивших в библиотеку в течение последних месяцев.

В предметном каталоге названия книг размещены по определенным предметам (темам) исследования, отраженным в рубриках. Сами рубрики и названия книг в этом каталоге следуют друг за другом в алфавитном порядке.

5. ОФОРМЛЕНИЕ НАУЧНЫХ РАБОТ СТУДЕНТОВ

5.1. Структура учебно-научной работы

Любое произведение научного характера можно условно разделить на три части: вводную, основную и заключительную. Большинство учебно-научных работ студентов по своей композиционной структуре состоит из следующих элементов:

- 1) титульного листа;
- 2) содержание;
- 3) введения;
- 4) основной части;
- 5) заключения;
- 6) списка использованных источников.

Некоторые работы имеют седьмой элемент – приложения, куда включают таблицы, графики и другие дополнительные материалы.

[^] *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.

К надзаголовочным данным относятся: полное наименование учебного заведения, факультета и кафедры, по которой выполнена работа. Далее указываются полностью фамилия, имя и отчество автора. В средней части титульного листа пишется заглавие работы.

В подзаголовочных данных указывается вид работы (курсовая или дипломная работа, магистерская диссертация).

Затем, ближе к правому краю титульного листа, пишутся ученая степень, ученое звание, полностью фамилия, имя, отчество научного руководителя.

В нижней части титульного листа указываются место и год написания работы.

В некоторых учебных заведениях установлены другие формы титульного листа, например, предлагают сведения об авторе помещать после заглавия и подзаголовка, а последний – впереди заглавия.

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

Введение призвано ввести читателя в круг затрагиваемых в работе проблем и вопросов. Во введении обосновывается выбор темы, определяемый ее актуальностью, формируются проблема и круг вопросов, необходимых для ее решения; определяется цель работы с ее расчленением на взаимосвязанный комплекс задач, подлежащих решению для раскрытия темы; указывается объект исследования, используемые методы анализа и литературные источники.

Обязательно введение должно содержать актуальность работы, научную новизну и практическую значимость:

- При формулировании **актуальности** работы необходимо кратко обосновать причины выбора именно данной темы, охарактеризовать особенности современного состояния экономики, управления, права и других общественных явлений, которые актуализируют выбор темы.
- **Научная новизна** в зависимости от характера и сущности исследования может формулироваться по-разному. Для теоретических работ научная новизна определяется тем, что нового внесено в теорию и методiku исследуемого предмета. Для работ практической направленности научная новизна определяется результатом, который был получен впервые, возможно подтвержден и обновлен или развивает и уточняет сложившиеся ранее научные представления и практические достижения.
- **Практическая значимость** заключается в возможности использования результатов исследования в практической деятельности, независимо от того – является данная работа теоретической или практической.

Обычно объем введения не превышает 5÷7% объема основного текста.

Основная часть. Выпускная работа содержит, как правило, три главы, каждая из которых в свою очередь делится на 2÷3 параграфа.

Первая глава носит общетеоретический (методологический) характер. В ней на основе изучения работ отечественных и зарубежных авторов излагается сущность исследуемой проблемы, рассматриваются различные подходы к решению, дается их оценка, обосновываются и излагаются собственные позиции студента. Эта глава служит теоретическим обоснованием будущих разработок.

^ *Вторая глава* носит аналитический характер. В ней дается глубокий анализ изучаемой проблемы с использованием различных методов исследования, включая экономико-математические. При этом студент не ограничивается констатацией фактов, а выявляет тенденции развития, вскрывает недостатки и причины, их обусловившие, намечает пути их возможного устранения. Эта глава должна служить технико-экономическим обоснованием последующих разработок. От полноты и качества ее выполнения непосредственно зависят глубина и обоснованность предлагаемых мероприятий.

^ *Третья глава* является проектной. В ней студент разрабатывает предложения. Все предложения и рекомендации должны носить конкретный характер, быть доведены до стадии разработки, обеспечивающей их практическое применение. Базой для разработки конкретных мероприятий и предложений служит проведенный анализ исследуемой проблемы во 2-й главе, а также имеющийся прогрессивный отечественный и зарубежный опыт.

Обязательным для выпускной работы является логическая связь между главами и последовательное развитие основной темы на протяжении всей работы. Некоторые научные руководители рекомендуют в конце каждой главы делать краткие выводы. Но если они будут

отражены в заключении, то повторяться не следует.

В *заключении* логически последовательно излагаются теоретические и практические выводы и предложения, к которым пришел студент в результате исследования, указывают на возможность внедрения результатов работы в практику, определяют дальнейшие перспективы работы над темой. Выводы должны быть краткими и четкими, дающими полное представление о содержании, значимости, обоснованности и эффективности разработок. Пишутся они тезисно (по пунктам) и должны отражать основные выводы по теории вопроса, по проведенному анализу и всем предлагаемым направлениям совершенствования проблемы с оценкой их эффективности по конкретному объекту исследования.

Объем заключения не должен превышать $5\div 7$ % объема основного текста.

В *список литературы* включаются только те литературные источники, которые были использованы при написании работы и упомянуты в тексте или сносках. Список составляется с учетом требований государственного стандарта или стандарта предприятия.

В *приложения* следует относить вспомогательный материал, который при заключении в основную часть работы загромождает текст.

К вспомогательному материалу относятся промежуточные расчеты, таблицы вспомогательных цифровых данных, инструкции, методики, распечатки на ЭВМ, иллюстрации вспомогательного характера, заполненные формы отчетности и других документов, регистров учета.

Если приложений больше десяти, их следует объединить по видам: промежуточные математические расчеты, результаты испытаний и т. д.

^ 6. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Объективной основой научного прогнозирования является наличие закономерностей в развитии природы и общества. Познав эти закономерности, мы можем использовать их для удовлетворения своих потребностей, для развития техники.

В настоящее время разработано более 140 методов прогнозирования. Уровень их разработки весьма различен и на практике их, конечно, применяют не все. Здесь мы рассмотрим только один – метод моделирования.

^ *Методы моделирования* основаны на целесообразном абстрагировании процессов развития событий в будущем. К таким методам относятся логические модели, информационные и математические модели, аналогии, игры и т. д.

Моделирование – наиболее общий метод прогнозирования. Оно является специфическим методом познания и основывается на признании всеобщей связи и взаимообусловленности явлений. Каждая модель рассматривается в качестве специфической формы отражения действительности. Конечно, формы отражения имеют различную степень сложности. Так, в логико-математических моделях соответствие их своему оригиналу носит более сложный характер, чем в моделях вещественных.

Термин "модель" в современной науке применяется в самых различных смыслах. Так, например, если говорить только о математических моделях, то их можно группировать следующим образом:

- эскизные модели, заданные дифференциальными уравнениями;

- программные модели для расчета на ЭВМ, имитирующие деятельность человека при решении некоторых интеллектуальных задач (интегрирование функций, игра в шахматы и др.);
- комбинированные модели для выработки решений в сложных ситуациях при неполном знании, включающие в себя статистические исследования и представления в дифференциальной форме;
- полиномиальные модели, связывающие входы в систему и выходные параметры, при этом почти ничего не известно о механизме явлений, протекающих в системе.

В самом общем смысле слова *моделью* называется специально созданная форма объекта для воспроизведения некоторых характеристик подлинного объекта, подлежащего изучению. Модель как инструмент исследования должна отражать признаки, связи и отношения объектов в простой и наглядной форме, удобной для анализа. Поскольку модель строится для решения конкретной задачи исследования, то в зависимости от этой задачи существенными могут оказаться в одном случае одни стороны объекта, а другом случае – другие, хотя рассматриваться может один и тот же объект. Представление модели лишь как взгляда на объект с некоторых, но не всех сторон – одно из условий построения модели. Попытки создания универсальных моделей, учитывающих все возможные связи и стороны изучаемого объекта, приводят к неоправданному усложнению моделей.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что научные исследования являются главной базой для принятия решений, особенно на современном этапе. Научно-техническое развитие народного хозяйства невозможно без кардинального обновления организационно-экономического управления наукой. Отсюда вытекает особое значение изучения основ научных исследований как для будущих конструкторов и исследователей, так и для технологов и мастеров производства, ибо всем им в своей трудовой деятельности придется принимать те или иные решения.

Особенно это приобретает большое значение в текстильной промышленности, так как многие технологические процессы и объекты этой отрасли могут быть отнесены к категории сложных. Практически все технологические процессы (объекты) текстильного производства обычно характеризуются большим числом взаимосвязанных факторов, наличием существенных неконтролируемых возмущений и ошибок измерения отдельных факторов и случайных изменений во времени характеристик. Поэтому научные исследования технологических процессов текстильной промышленности проводятся с целью:

- 1) раскрытия сущности и закономерности процесса;
- 2) определения оптимального режима работы объекта (механизма, машины, агрегата) для обеспечения заданного качества выпускаемой продукции и высокой производительности;
- 3) определения статических и динамических характеристик объекта и др.

Результаты исследований могут быть представлены в виде таблиц, графиков и уравнений, т.е. математического описания технологического процесса.

В настоящее время в связи с широкой автоматизацией и компьютеризацией технологических процессов именно математическому описанию технологического процесса уделяется особенно большое внимание.

Сущность математического описания объекта (системы) или процесса заключается в получении математической модели или соотношения, связывающего характеристики входящего в объект материала, объекта (системы) или процесса и выходящего продукта, т. е.

$$Y=A\{X\}$$

где Y – совокупность выходных параметров процесса, которые определяют физические и химические свойства выходящего продукта или технико-экономические показатели процесса (объекта). Часто этот параметр называют критерием оптимизации, параметром оптимизации, целевой функцией отклика, выходом «черного ящика», или, наконец, реакцией динамической системы;

X – совокупность входных параметров (факторов), определяющих характеристики процесса (объекта) и свойства входящего материала (сырья, продукта). Часто входные факторы называют аргументами, входными параметрами, входами «черного ящика» или внешними воздействиями на систему;

$A\{\}$ – символ, называемый оператором, который характеризует математическую операцию преобразования входных $X_i(t)$ функций в функции выхода $Y_i(t)$, т. е. математическую модель объекта или системы.

Математическую модель объекта (системы, процесса) удобно представлять в виде блок-схемы (рис. 6.1), т.е. параметрической схемы, в которой прямоугольник соответствует объекту или системе, стрелки $X_1 \dots X_i$ обозначают входные параметры (факторы) или воздействия на систему, а стрелки $Y_1 \dots Y_i$ – выходные параметры. На схеме внутри прямоугольника записывают оператор или динамическую характеристику.



Рис. 1 – Обобщенная модель объекта

Рис. 6.1 – Обобщённая модель объекта исследования

Наличие математической модели процесса (объекта) и алгоритма управления процессом обеспечивает условия для более быстрого инженерного конструирования рациональной системы алгоритмического регулирования технологического процесса, создания системы автоматического технического контроля процессов и управления агрегатами и поточными линиями.

Зная математическую модель процесса или объекта, можно спрогнозировать свойства входящего продукта, оценить степень влияния входных факторов с целью разработки схемы контроля и стабилизации наиболее сильно влияющих факторов, а также осуществить оптимизацию процесса.

Отсутствие математических моделей и недостаточное знание динамических свойств объектов приводит к интуитивному управлению процессом, что соответственно отражается на производительности машин и качестве выпускаемого продукта. Для большинства технологических процессов технологической промышленности известны основные качественные зависимости, характеризующие протекание процесса, однако к настоящему времени математические модели получены только для некоторых процессов.

В России проведено и опубликовано много теоретических исследований таких важных технологических процессов прядельного производства, как кардочесание, гребнечесание, вытягивание, смешивание, наматывание, формирование ткани и др. Однако еще многие процессы прядельного, ткацкого и трикотажного производства теоретически изучены слабо и не имеют математической модели. Несовершенные гипотезы о моделях процессов и отсутствие полного

учета факторов, определяющих входные воздействия и свойства объекта, приводят к отклонению прогнозируемых характеристик от характеристик продукта, получаемого в реальных объектах.

Математическая модель считается адекватной объекту, если с достаточной точностью отражает его поведение, т. е. изменение одного или нескольких выходных параметров или варьировании входных параметров (факторов) в заранее заданном диапазоне.

^ 6.1. Классификация математических моделей

В основу классификации математических моделей положены следующие признаки:

1. Число аргументов, от которых зависят параметры процесса или оператор системы:

- Если входные параметры процесса X или оператор $A\{\}$ не зависят от аргументов, то математическая модель называется *статической*. Этот вид модели обычно описывается алгебраическим уравнением

$$Y = f(x_1 \dots x_n)$$

- Если входные параметры процесса или оператор зависят от аргументов, то такая модель называется *динамической*. Если параметр процесса или оператор зависят только от одного аргумента [например, времени $X = X(t)$], модель называется *динамической моделью с сосредоточенными параметрами*, т. е.

$$Y(t) = A_t \{X(t)\}$$

Эти модели описываются обыкновенными дифференциальными уравнениями.

- Если число независимых аргументов более одного (например, время и пространственные координаты), то такая модель называется *математической моделью с распределенными параметрами*, т. е.

$$Y(t, \textcircled{2}, \textcircled{3}) = A_{t, \textcircled{2}, \textcircled{3}} \{X(t, \textcircled{2}, \textcircled{3})\}$$

Эти модели описываются дифференциальными уравнениями в частных производных.

Здесь необходимо отметить, что входные параметры или оператор могут обладать свойством однородности. Параметр X или оператор $A\{\}$ называется $\alpha\Delta$ на произвольную величину α , если изменение α однородным по аргументу не меняет параметр или оператор, т. е.

$$X(\textcircled{2}) = X(\textcircled{2} + \alpha \textcircled{2}) \quad \text{и} \quad A_{\textcircled{2}} = A_{\alpha + \textcircled{2}} \{\}$$

В случае, когда аргументом, по которому однороден параметр или оператор, является время, параметр или оператор называется *стационарным*. Система, оператор которой стационарен, называется *стационарной*. Если условие однородности оператора процесса не удовлетворяется, то система называется нестационарной.

^ 2. Природа исследуемого процесса или объекта. По этому признаку модели делятся на вероятностные и детерминированные.

В *вероятностной* модели учитывается случайная природа входных параметров или оператора. Вероятностные модели могут быть нескольких видов:

1) Если выходной параметр процесса представляет случайную величину, а факторы (входные параметры) являются не случайными (жесткими), то математическая модель называется *регрессионной*. Случайные значения выходного параметра могут быть обусловлены, например, воздействием части неучтенных факторов. Эта модель позволяет предполагать, что колеблемость выходного параметра содержит в себе две части: одна, неслучайная, является функцией факторов; другая, случайная, не связана факторами.

При построении регрессионных моделей используются различного вида алгебраические уравнения. Например, формулы для расчета натяжения нити на различных машинах, полученные при обработке экспериментальных данных, представляют регрессионные модели;

2) Если выходной параметр процесса и факторы представляет случайные величины с определенным законом распределения, то взаимосвязь между ними или математическая модель процесса называется *корреляционной*.

В этом случае к вопросу выяснения зависимости между случайными величинами параметров процесса еще добавляются вопросы исследования степени связи между ними при построении этих моделей используется корреляционный анализ случайных величин. Формулы для расчета прочности пряжи, ткани и трикотажа, полученные при обработке экспериментальных данных, представляют корреляционные модели, так как входные и выходные параметры – случайные величины.

В *детерминированной* модели не учитывается случайная природа входных параметров процесса и оператора, а выходные параметры процесса однозначно определяются факторами и оператором процесса. В этом случае не требуется математико-статистические методы анализа процесса.

При построении детерминированных моделей используют различные классические методы математики: дифференциальные и интегральные уравнения, алгебраические уравнения и операторы.

^ 3. Свойство линейности модели. Математическая модель называется *линейной*, если линейен оператор системы. Оператор $A\{\}$ называется линейным, если выполняется равенство

$$A\{X\} + \Delta X = A\{X + \Delta X\}$$

X – символ произвольного приращения входных параметров (факторов). Где

Это свойство линейного оператора называется также *свойством суперпозиции*, или *наложения*. Если это равенство не выполняется, то оператор и соответственно модель называются *нелинейными*.

^ 7. МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Методы получения математических моделей (см. рис. 7.1) технологических процессов и объектов подразделяются на теоретические, экспериментальные, и теоретико-экспериментальные.

Теоретический метод заключается в аналитическом исследовании физической сущности микропроцессов с использованием общих законов физики, справедливых для данного технологического процесса или микропроцессов с использованием уравнений материального и энергетического баланса. Второе направление теоретического метода обеспечивает получение

более простого математического описания процесса.

Применение чисто теоретического метода получения математической модели объекта представляет большую трудность вследствие сложности явлений, происходящих в процессах, и недостаточной степени изученности их. Однако при проектировании новых процессов и в поисковых исследовательских работах теоретический метод построения математической модели имеет часто доминирующее значение.

Экспериментальный метод математического описания технологического процесса или объекта заключается в обработке экспериментальных данных, полученных непосредственно на действующих объектах производства, или на полупромышленной лабораторной машине, или на физической модели процесса – стенде. Часто экспериментальный метод используется с целью получения информации для разработки алгоритма управления процессом и при отсутствии теоретического описания изучаемого процесса.

Наиболее эффективным решением задачи получения математической модели сложного процесса является *сочетание теоретического и экспериментального методов*.

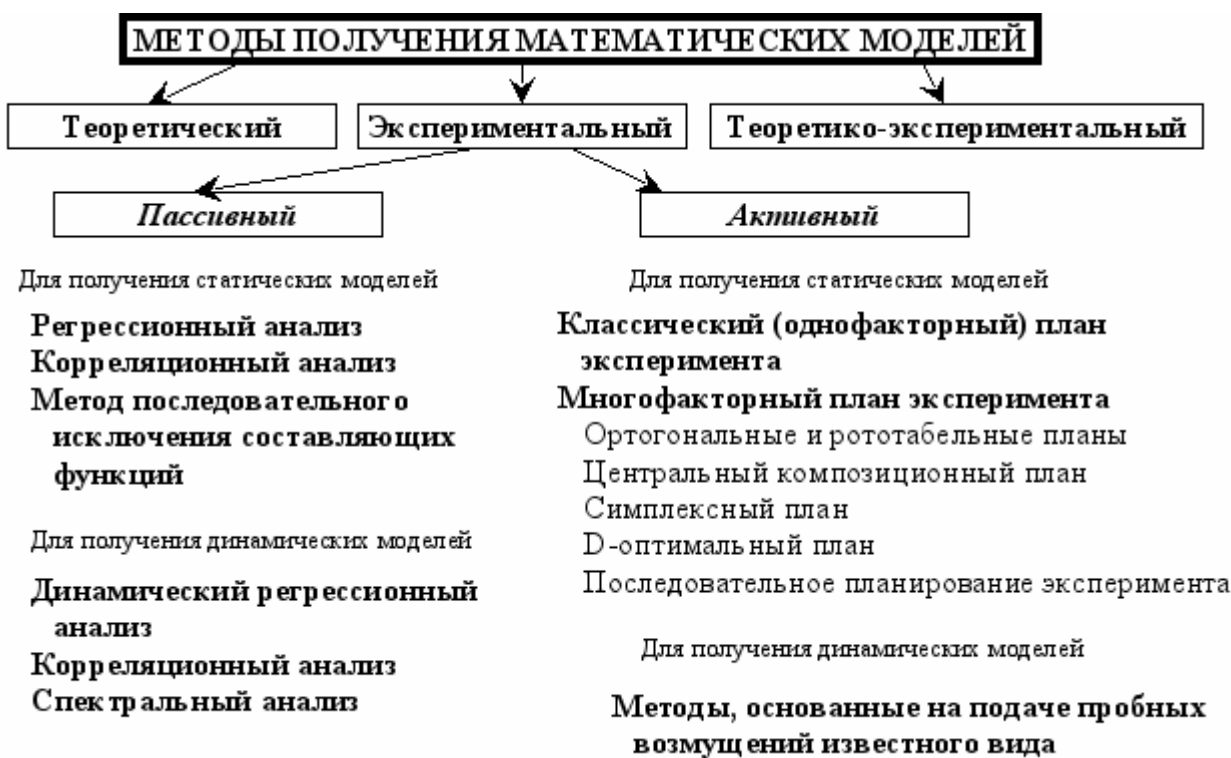


Рис. 7.1 – Классификация методов получения математических моделей

При этом на долю теоретического метода приходится анализ в основном структурных свойств объекта и продуктов и получения общего вида уравнений, на долю экспериментального – количественный анализ (определение численных значений коэффициентов уравнений для изучаемого объекта) и проверка теоретических выводов. Эксперимент играет решающую роль в получении математической модели сложного реального процесса или объекта.

Так как изучаемое явления и информация, поступающая от объекта к исследователю во время эксперимента, подвержены воздействию ряда неконтролируемых возмущений (изменение трудно контролируемых факторов, ошибки измерения и т. д.), получаемая информация носит случайный характер.

Эффективным средством экспериментального изучения объектов является *статические* методы, основанные на проведении экспериментов и последующей статической обработке их результатов с целью извлечения объективной информации о свойствах объекта. В этом случае объект рассматриваем как кибернетическую систему, называемую «черным ящиком» (см. рис. 6.1).

При экспериментальном исследовании промышленного объекта, находящегося в непрерывной эксплуатации, возникают трудности, обусловленные:

- 1) Большим числом взаимосвязанных и часто неконтролируемых входных параметров (факторов);
- 2) Высоким уровнем помех, в том числе и от неконтролируемых воздействий, величина и природа которых не известны и носят случайный характер. К этим воздействиям относятся: изменение режима работы объекта, изменение характеристик технологического оборудования вследствие износа и нарушения нормального взаимного положения рабочих органов, воздействие многочисленных внешних факторов (температуры и влажности воздуха и др.) присутствия случайных примесей во входящих продуктах, неконтролируемые параметры входящего сырья или продукта и т. п.;
- 3) Значительной трудоемкостью обработки данных эксперимента;
- 4) Отсутствием необходимых измерительных приборов и датчиков;
- 5) Нарушением нормального режима объекта, особенно на длительное время, а, следовательно, большими издержками производства.

Все указанные выше трудности исследователь должен учитывать при выборе экспериментального метода получения математической модели.

8. ПАССИВНЫЙ И АКТИВНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Экспериментальные методы получения математической модели могут быть пассивные и активные.

При *пассивном эксперименте* информацию о параметрах процесса или объекта получают при нормальной эксплуатации объекта, без внесения каких-либо искусственных возмущений. Часто в качестве данных пассивного эксперимента используют записи в эксплуатационных журналах технологического оборудования или в журналах технологического контроля. Однако к такой информации следует относиться критически, так как контроллеры иногда делают ошибочные записи; кроме того, возникают погрешности вследствие одновременной фиксации данных измерений.

В качестве данных пассивных экспериментов могут быть также использованы реализации (диаграммы), получаемые на регистрирующих измерительных приборах. Однако эта информация в силу непрерывности ее характера требует квантования (дискретизации) во времени, а также согласования во времени скоростей записей реализаций процессов, которые в производственных условиях могут быть различными.

В настоящее время усилился интерес к пассивным методам исследования, основанным на статической обработке данных. Это обусловлено наличием большой информации о процессах и объектах на производстве, относительно простой организацией пассивного эксперимента и значительным прогрессом вычислительной техники, которая обеспечивает статическую обработку

большого массива экспериментальных данных.

Все сказанное выше обуславливает уменьшение затрат на проведение пассивного эксперимента.

Однако пассивные экспериментальные методы исследования не всегда обеспечивают требуемую точность определения математической модели и адекватность ее в широкой области изменения входных параметров. Время регистрации параметров процесса (объекта) в пассивном эксперименте обычно ограничено, особенно при отсутствии датчиков или приборов для непрерывного измерения. В этом случае время обора пробы должно быть малым, чтобы не нарушался нормальный процесс, однако это снижает точность измерений.

В данной ситуации целесообразно воспользоваться активными методами эксперимента для определения или уточнения числовых значений коэффициентов, входящих в математическую модель, т. е. целесообразно сочетать пассивным эксперимент с активный.

При *активном эксперименте* информацию о параметрах процесса получают путем искусственного внесения возмущений, т. е. изменяют входные параметры в соответствии с заранее подготовленной программой (матрицей планирования).

Активные методы исследования в настоящее время разработаны значительно лучше, чем пассивные, и являются в известном смысле более универсальными, поскольку предполагают некоторую свободу в выборе диапазона изменения уровней факторов и получение более надежных результатов.

Однако не всегда и не всюду возможно вносить возмущения, т. е. изменять уровень факторов при нормальной эксплуатации объекта, так как это может вызвать порчу продукции, расстройство технологического процесса и т. п. Кроме того, при проведении активных экспериментов весьма затруднительно в реальных условиях стабилизировать условия процесса на заданном уровне в течение определенного участка времени.

Наилучшие условия для проведения активного эксперимента могут быть созданы в лаборатории на экспериментальных машинах и стендах, позволяющих варьировать параметры процесса в весьма широком диапазоне.

Недостаток обоих методов заключается в том, что полученные с их помощью модели приемлемы лишь в диапазоне варьирования параметров, в пределах которого были собраны экспериментальные данные. Экстраполяция, а тем более перенесение результатов экспериментально построенной модели одного процесса на другой (даже полностью аналогичный), как правило, совершенно недопустимы.

При получении *статических* моделей объекта (системы) используются следующие математико-статические методы:

- 1) в пассивном эксперименте – регрессионный анализ, корреляционный анализ, метод последовательного исключения составляющих функций;
- 2) в активном эксперименте – классический или однофакторный план эксперимента, факторные планы – ортогональный и ротатабельный, центральные композиционные факторы, симплексные планы, D-оптимальные планы и последовательное планирование эксперимента.

При получении *динамических* моделей объекта (системы процесса) используются следующие математико-статические методы:

- 1) в активном эксперименте – методы, основанные на подаче пробных возмущений известного вида;
- 2) в пассивном эксперименте – корреляционный, спектральный и динамический регрессионный анализ.

Выбор метода получения математической модели определяется характеристиками исследуемого объекта (системы, процесса), задачами исследования и условиями или предпосылками применения его или иного метода.

Выполнимость предпосылок для применения данного метода получения модели, как правило, проверяют на этапе предварительного эксперимента. Выполнение предпосылок иногда может быть достигнуто путем соответствующей организации эксперимента и методики сбора информации, а также специально подобранных функциональных преобразований исследуемых факторов.

Получение математических моделей для сложных многофакторных объектов текстильной промышленности экспериментально-статическими методами связано с большим объемом вычислительных работ. Поэтому эффективность работы исследователя значительно повышается, если он вооружен таким мощным средством, как современная электронная вычислительная машина.

9. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

9.1. Подготовка и проведение предварительного эксперимента

Подготовка к проведению предварительного эксперимента включает ряд организационных и технических мероприятий, от тщательности выполнения которых зависит в большей мере успех эксперимента.

Исследователь должен проверить свойства сырья и материалов и установить соответствие задачам исследования. Кроме того, он должен проверить состояние оборудования стендов, приборов, не забывая важное условие: эксперимент должен проводиться на оборудовании, находящемся в рабочем состоянии.

Если в работе применяются новые методы и средства исследования, то проводятся пробные опыты по разработанной и принятой методике. При этом исследователь получает необходимый навык и тренировку, проверяет работоспособность датчиков, регистрирующих приборов и других измерительных устройств, выявляет возможность осуществления принятой методики исследования, а также неучтенные особенности эксперимента и возможные ошибки или погрешности. При использовании новых измерительных устройств проводится тарировка их и определяется точность показаний.

По результатам пробных опытов, если выявляется необходимость, в поисковых работах дорабатывается конструкция стенда, измерительных и регистрирующих устройств, вносятся соответствующие поправки в методику эксперимента.

Проведение одного этапа необходимо поручать только одному исполнителю, так как замена исполнителей может привести к наложению субъективных погрешностей наблюдения.

После проведения серии опытов для каждой изучаемой закономерности необходимо, не накапливая данные, обрабатывать результаты опыта с тем, чтобы в случае необходимости можно было бы исправить и дополнительную методику исследования или план (матрицу) эксперимента. Своевременная обработка результатов позволяет судить об их достоверности и в некоторых

случаях устранить повышенное рассеяние экспериментальных данных.

9.2. Задачи первичной обработки результатов предварительного эксперимента

В зависимости от характера объекта и применяемых средств измерения входных (факторов) и выходных параметров результаты измерения могут быть представлены (см. рис. 9.1) в непрерывном (а), дискретном (б) и комбинированном (в) виде. Для случая «а» примером может служить изменение толщины ленты на входе в выходной прибор $X(t)$ и на выходе из него $Y(t)$. Для случая «б» примером могут быть результаты определения доли штапельных лавсановых волокон в пробах смеси $X(n)$ на входе кардочесального аппарата и ватке – прочесе $Y(n)$ перед его ровничной кареткой.

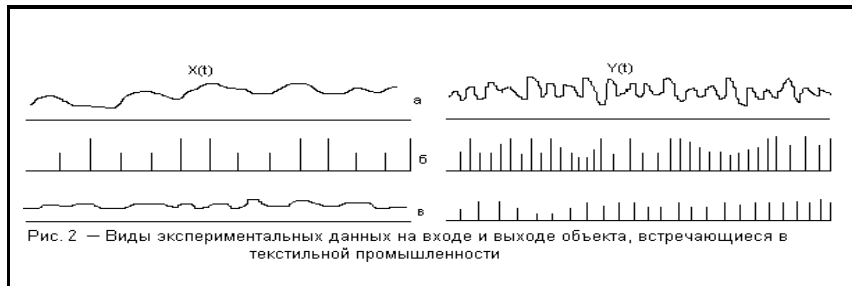


Рис. 9.1. Виды экспериментальных данных на входе и выходе объекта, встречающиеся в текстильной промышленности

Для случая «в» примером является изменение натяжения основы $X(t)$ на ткацком станке или основовязальной машине и плотности соответственно ткани или вязанного полотна $Y(t)$, а также изменение толщины ленты $X(t)$ на входе пневмомеханического прядильного устройства и прочности получаемой пряжи $Y(t)$.

Часто непрерывную регистрацию параметров превращают в дискретную с целью получения статических характеристик на цифровой ЭВМ или ручным способом. При этом должны соблюдаться определенные условия дискретизации, о которых будет сказано ниже.

Изменения многих параметров входных и выходных технологических процессов описываются случайными функциями, например изменение толщины продуктов, натяжения нитей, прочности пряжи (ткани) на выходе прядильной машины (ткацкого станка) и т. п. Для исследования их используется аппарат теории случайных функций.

Совокупность неслучайных функций, полученных по результатам экспериментального исследования параметров технологического процесса, называется реализацией случайной функции. Часто эти записи называют диаграммами и осциллограммами.

При исследовании свойств продуктов в отдельных пробах и паковках, совокупности текстильных волокон в отдельных пробах смеси и в сечениях продуктов, характеристик партий готовых изделий (например, чулок, колец, бегунков и т. п.) получают совокупности случайных величин. Для исследования их используется теория случайных величин.

Первичная обработка экспериментальных данных включает:

1) исключение резко выделяющихся (выскакивающих, аномальных) экспериментальных данных;

- 2) статистическую проверку случайности и независимости результатов измерений (испытаний);
- 3) определение числовых характеристик случайных величин: среднего, дисперсии или среднего квадратичного отклонения, коэффициента вариации и вида распределения случайных величин, а также определение точности и надежности этих величин;
- 4) определение вида распределения ординат реализации стационарной эргодичной случайной функции, корреляционной функции, спектральной плотности и градиента неровноты, определение и надежности этих характеристик;
- 5) проверку воспроизводимости процесса;
- 6) проверку стационарности процесса и определение скрытых периодичностей и наличие дрейфа (тренда) экспериментальных данных;

Рассмотрим наиболее часто встречающиеся методы перечисленной выше обработки экспериментальных данных.

9.3. Методы исключения резко выделяющихся экспериментальных данных

Совокупность полученных экспериментальных данных часто имеет значения, резко выделяющиеся относительно других, что приводит к постановке вопроса об и исключения их дальнейшей обработки. Например, полученные значения выходного параметра процесса или какого-либо свойства продукта (сырья) $Y_1 Y_2 Y_3 \dots Y_i Y_j \dots Y_{m-1} Y_m$, из которых $Y_i = Y_{\min}$, $Y_j = Y_{\max}$ столь резко отличаются от всех остальных, что появляется подозрение о существенном изменении условий опыта в момент его наблюдения. Не правильной регистрации параметра или о том, что значение этого параметра является элементом генеральной совокупности, вероятность появления которого весьма мала. Независимо от причин получения резко выделяющихся данных они могут существенно исказить числовые характеристики: среднее и дисперсию. С другой стороны, эти характеристики искажаются при необоснованном исключении резко выделяющихся данных.

Первый и самый надежный метод определения возможности исключения резко выделяющихся данных – это анализ условий, при которых они были получены. Если условия существенно отличаются от стандартных или установленных по плану эксперимента, то данные необходимо исключить из дальнейшей обработки независимо от их величины.

Второй – статический – метод применяется в том случае, когда определение существенности изменения условий эксперимента представляет большие трудности. Сущность статического метода заключается в определении:

- 1) среднего значения и дисперсии для полученных значений случайных величин, которые представляют выборку из нормальной генеральной совокупности, по формулам:

$$\bar{Y} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_i; \quad (9.1)$$

$$S^2 \{Y\} = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (Y_i - \bar{Y})^2; \quad (9.2)$$

- 2) расчетного значения критерия Смирнова-Грабса по формулам:

при подозрении резко выделяющегося максимального значения $Y_{i \max}$

$$V_{R_{\max}} = \frac{(Y_{i_{\max}} - \bar{Y})}{S\{Y\}} \cdot \sqrt{\frac{m}{m-1}} \quad (9.3)$$

при подозрении резко выделяющегося минимального значения $Y_{i \min}$

$$V_{R_{\min}} = \frac{(Y - Y_{i_{\min}})}{S\{Y\}} \cdot \sqrt{\frac{m}{m-1}} \quad (9.4)$$

Затем $V_{R_{\max}}$ или $V_{R_{\min}}$ сравнивают с табличным критическим значением критерия V_T , который определяется по приложению 1 при условии, что доверительная вероятность p_D или уровень значимости $\alpha = 1 - p_D$ и число измерений (число повторных опытов в матрице) m , т. е. $V_T[p_D; m]$ или $V_T[\alpha, m]$.

Если $V_{R_{\max}} > V_T$ или $V_{R_{\min}} > V_T$, то резко выделяющиеся значения $Y_{i_{\max}}$ или $Y_{i_{\min}}$ исключают из дальнейшей статистической обработки данных.

как вероятности ошибочного исключения резко выделяющегося значения имеет точный смысл лишь, когда совокупность значений Y_i представляет выборку из нормальной генеральной совокупности.

Если полученная выработка значений параметра имеет более одного резко выделяющегося значения Y , то критерий V может быть применен поочередно к каждому из них в отдельности.

Пример 9.1. При испытании пряжи на разрыв были получены следующие значения ее прочности: 199; 239; 214; 229; 224; 234; 219; 300; 224; 218.

Известно, что распределение значений прочности пряжи подчиняется нормальному закону. Пользуясь формулами (9.1) - (9.4), находим:

$$\bar{Y} = \frac{199 + 239 + 214 + 229 + 224 + 234 + 219 + 300 + 224 + 218}{10} = \frac{2300}{10} = 230$$

$$S^2\{Y\} = \frac{[(199 - 230)^2 + (239 - 230)^2 + (214 - 230)^2 + (229 - 230)^2 + (224 - 230)^2 +$$

$$+ (234 - 230)^2 + (219 - 230)^2 + (300 - 230)^2 + (224 - 230)^2 + (218 - 230)^2]}{10 - 1} \cdot \sqrt{\frac{10}{10 - 1}} = 728$$

$$\text{Тогда } V_{R_{\max}} = \frac{300 - 230}{\sqrt{728}} \cdot \sqrt{\frac{10}{10 - 1}} = 2,75$$

По приложению 1 находим, что $V_T[p_D = 0,95; m = 10] = 2,29$ и $V_T[p_D = 0,99; m = 10] = 2,54$. Так как при доверительной вероятности $p_D = 0,95$ $V_R > V_T$ то значение $Y_{\max} = 300$ можно считать резко выделяющимся и его можно исключить из дальнейшей обработки.

Однако возможны случаи, когда V_T окажется между критическими значениями критерия исключения. Тогда мы не можем категорично утверждать о возможности исключения из дальнейшей обработки значения Y_{\max} , можно лишь отметить, что вероятность грубой ошибки при получении этого значения велика. При проведении основного эксперимента необходимо уточнить значения среднего и дисперсии, полученные в предварительном эксперименте (или это же делается в дополнительном предварительном эксперименте).

Теперь проверим, относится ли $Y_{\min} = 199$ к резко выделяющимся значениям. Снова определяем те же характеристики, т.к. после исключения $Y_{\max} = 300$ остается $m = 9$ измерений.

$$\bar{Y} = \frac{199 + 239 + 214 + 229 + 224 + 234 + 219 + 224 + 218}{9} = \frac{2000}{9} = 222$$

$$S^2\{Y\} = \frac{[(199 - 222)^2 + (239 - 222)^2 + (214 - 222)^2 + (229 - 222)^2 + (224 - 222)^2 + (234 - 222)^2 + (219 - 222)^2 + (224 - 222)^2 + (218 - 222)^2]}{9 - 1} \cdot \sqrt{\frac{9}{9 - 1}} = 138,5$$

Расчетное значение критерия определяем по формуле (9.4):

$$\text{Тогда } V_{R_{\min}} = \frac{222 - 199}{\sqrt{138,5}} \cdot \sqrt{\frac{9}{9 - 1}} = 2,06$$

По приложению 1 находим, что $V_T[p_D = 0,95; m = 9] = 2,24$ и $V_T[p_D = 0,99; m = 9] = 2,46$.

После исключения резко выделяющихся значений приступают к определению числовых характеристик случайных величин и их распределения. Данный вопрос подробно рассматривается в рамках дисциплины – математическая статистика, поэтому в данном учебном пособии приведём лишь основные понятия и формулы, наиболее часто встречающиеся при обработке экспериментальных данных.

10. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

Анализ результатов любого исследования становится более убедительным и наглядным, если он соответствующим образом обработан. Разработка методов регистрации, описания и анализа результатов исследований составляет содержание специальной науки – *математической статистики*. Основной предпосылкой существующих методов обработки результатов является представление последних в качестве случайных величин, полученных как некоторая выборка из генеральной совокупности этих величин, под которой подразумевается все множество возможных значений этих величин.

^ 10.1. Статистические совокупности. Признаки и варианты

Математическая статистика есть наука о закономерностях и методах изучения массовых явлений, представляемых в виде совокупностей однородных объектов, называемых статистическими совокупностями.

Любые производственные процессы, в частности процессы прядения, ткачества или швейного производства (а также исходные материалы в виде сырья или полуфабрикатов и готовая продукция), представляют собой массовые явления. Каждое из этих массовых явлений может быть представлено в форме тех или иных статистических совокупностей однородных объектов. Приведем примеры таких совокупностей: волокна хлопка в данной кипе; образцы ровницы или

пряжи, вырабатываемые данной машиной; суточная продукция прядильной, ткацкой или швейной фабрики; детали того или иного швейного изделия (например, спинки пиджаков); население того или иного возраста и пола некоторого района и т. д.

Каждая статистическая совокупность объектов обладает различными признаками, по отношению к которым можно изучать эту совокупность.

^ *Признаком статистической совокупности объектов называется то или иное свойство, характеризующее элементы (члены) этой совокупности.*

Так, признаками статистической совокупности волокон хлопка в данной кипе являются: длина волокна, его толщина, прочность, зрелость и т. д. Признаки образцов пряжи – это прочность, вес, толщина и т. д., а суточной продукции фабрики – вес пряжи, количество метров ткани, количество пальто, стоимость продукции, процент брака и т. д. Продолжая перечисление упомянутых выше совокупностей, можно сказать, что для статистической совокупности спинок пиджаков подобными признаками будут те или иные их размеры (длина, ширина и др.). Наконец, признаками статистической совокупности населения некоторого района являются рост, обхват груди и т. д.

Признаки могут быть количественными, т. е. поддающимися измерению (например, длина волокна, рост человека), и качественными, когда можно фиксировать лишь наличие или отсутствие некоторого качества (есть брак или нет его, пол человека и др.).

Количественные признаки обозначают прописными буквами конца латинского алфавита X, Y, W, \dots , качественные – прописными начальными буквами изучаемых качеств (K – крашенный, B – бракованный и т. п.).

Качественный признак, противоположный данному, обозначают той же буквой, но с черточкой над ней: \overline{K} – некрашенный, \overline{B} – не бракованный и т. п.

Количественный признак каждой совокупности объектов может принимать для ее различных членов разные числовые значения, т. е. может варьировать.

^ *Вариантами называются числовые значения признака элементов статистической совокупности объектов.*

Обозначают варианты строчными буквами с индексами. Так, для признака X это x_1, x_2, \dots

Количественные признаки могут изменяться или непрерывно, или дискретно (прерывно), в зависимости от того, могут ли они принципиально принимать любые значения в некотором интервале или лишь только какие-то отдельные значения. К примеру, длина волокна и рост человека являются непрерывными признаками, а число обрывов нити в час и количество выпускаемых в сутки пальто – дискретными.

Каждой статистической совокупности объектов соответствует несколько статистических совокупностей вариантов, в зависимости от числа признаков, по отношению к которым изучается данная статистическая совокупность объектов.

Пример 10.1. Статистическая совокупность объектов – сновальные валы. Измерив массу намотки, получим статистическую совокупность вариантов по признаку «масса», предположим 154 кг, 170, 168, 171, 162, 179, 165 кг, ... Измерив диаметр намотки, получим статистическую совокупность вариантов по признаку «диаметр намотки» (например, 81 см, 87, 86, 89, 83, 91, 85 см, ...).

Статистическая совокупность вариантов является одним из основных объектов изучения математической статистики, подобно тому как число является основным понятием арифметики, а функция – основным понятием математического анализа.

В дальнейшем статистические совокупности вариантов мы будем называть просто совокупностями.

^ 10.2. Основной метод, используемый в математической статистике

Основным в математической статистике является выборочный метод. Суть его в том, что *та или иная статистическая совокупность, соответствующая всему массовому явлению* (например, вся продукция), *изучается не путем измерения {испытания} всех ее членов по некоторому признаку, а путем измерения лишь какой-то ее части, называемой выборочной совокупностью, или выборкой.* Вся же совокупность называется – генеральной совокупностью.

Изучая распределение вариантов в выборочной совокупности, мы имеем возможность при некоторых условиях, которые и выявляет математическая статистика, делать заключение о распределении признака и в генеральной совокупности.

Выборочные совокупности отличаются от генеральных прежде всего объемом.

^ Объемом статистической совокупности называется общее число ее членов.

Объем N генеральной совокупности часто можно считать бесконечным (число волокон в кипе, число образцов пряжи, вырабатываемой данной машиной, и т. д.). Объем n выборки всегда конечен и, как правило, невелик.

Очевидно, чем больше объем выборки, тем точнее она отражает распределение признака в генеральной совокупности. Но при больших выборках для соответствующих расчетов требуется много времени и труда; кроме того, при испытаниях продукт иногда повреждается (например, при испытании ткани на прочность). Поэтому возникает важнейший для практики вопрос: каков же наименьший объем выборки, при котором полученные результаты обработки можно отнести и к генеральной совокупности. Этот вопрос решается с помощью теории вероятностей.

Результаты обработки выборочной совокупности называют выборочными, или эмпирическими, т. е. полученными из опыта.

В отличие от них результаты обработки генеральной совокупности называют генеральными, или теоретическими.

^ 10.3. Составление первоначальной таблицы и вариационного ряда

Всякое статистическое исследование начинают с того, что производят выборку некоторого объема n из генеральной совокупности и записывают подряд результаты измерений (испытаний) элементов этой выборки по некоторому признаку X . В результате получают выборочную статистическую совокупность в виде так называемой первоначальной таблицы, или первоначального ряда вариантов: x_1, x_2, \dots, x_n

В эту таблицу варианты x_i входят без всякого порядка; поэтому непосредственно из нее затруднительно выявить распределение признака (каково его среднее значение, около которого группируются варианты, и как группируются варианты около среднего значения – сосредоточенно или рассеянно, симметрично или асимметрично и т. д.). Одним из способов установления

распределения является упорядочение вариантов по величине с помощью вариационного ряда.

Вариационным рядом называется статистическая совокупность, варианты которой выписаны в порядке возрастания, причем одинаковые варианты выписываются столько раз, сколько их имеется в первоначальной совокупности.

Пример 10.2. Один из цехов швейной фабрики в течение десяти дней выпустил следующее количество изделий (пальто): 154, 150, 154, 152, 152, 154, 155, 154, 152, 156. Это первоначальный ряд. Вариационный же ряд будет иметь такой вид: 150, 152, 152, 152, 154, 154, 154, 154, 155, 156.

Пример 10.3. В результате испытаний нити шелка на прочность получены следующие величины (сН): 8; 10,4; 9,1; 10,2; 9,3; 10,3; 11; 9,5; 10,1. Это первоначальный ряд. Вариационный же ряд будет иметь такой вид: 8; 9,1; 9,3; 9,5; 10,1; 10,2; 10,3; 10,4; 11.

^ 10.4. Понятия частота (численность) и частость и их таблицы распределения

Вернемся к примеру 10.2. Сосчитаем, сколько раз входит в выборочную совокупность тот или иной вариант. Так, вариант 152 входит в нее три раза, вариант 154 – четыре раза и т.д. Величины 3 и 4 называются частотой или численностями вариантов 152 и 154.

Однако определять частоту вариантов так, как мы только что сделали, можно только в тех случаях, когда признак изменяется дискретно (например, количество штучных изделий, число обрывов в час). При изменении же признака X непрерывно (например, прочности пряжи) может и не быть в точности одинаковых вариантов. Тогда нужно весь интервал изменения признака разбить на *частные интервалы* ΔX и подсчитать число вариантов, приходящихся на тот или иной частный интервал.

^ Частотой вариантов при дискретном изменении признака называется число одинаковых вариантов в выборочной совокупности, а при непрерывном изменении признака – число вариантов, попадающих в тот или иной частный интервал. Обозначим частоту через m , а объем выборки – n , k – число частных интервалов.

Пусть m_1, m_2, \dots, m_k – частота соответствующих вариантов x_i или частота вариантов, приходящихся на соответствующие частные интервалы. Тогда сумма всех частот будет равна объему выборки:

$$m_1 + m_2 + \dots + m_k = n, \text{ или } \sum_{i=1}^k m_i = n$$

Необходимо ввести также понятие относительной численности, или доли, называемой частостью.

^ Частостью называется отношение численности к объему выборочной совокупности.

Частость будем обозначать буквой ω и выражать либо в долях единицы, либо в процентах:

$$\omega = \frac{m}{n} \quad (10.1)$$

Можно сказать, что сумма частостей (долей) всегда равна единице (или 100%)

	•								
--	---	--	--	--	--	--	--	--	--

Пример 10.4. В табл. 10.3 указана прочность (*дан*) 50 образцов крученной пряжи 16 *текс* в три сложения.

Таблица 10.3

1,32	0,83	1,46	1,84	1,29	1,82	1,59	1,16	1,51	1,19
1,34	1,48	1,42	1,61	1,93	1,81	1,98	1,26	2,19	1,07
1,47	1,36	1,88	1,71	1,43	1,21	1,20	1,49	1,43	1,52
1,01	1,75	1,37	1,28	1,65	1,43	1,69	0,92	1,54	1,56
0,88	1,39	1,80	1,64	2,06	1,03	1,65	2,16	1,67	1,12

Как видим, наименьшая прочность равна 0,83 *дан*, а наибольшая – 2,19 *дан*. Для получения общего интервала целесообразно округлить эти величины; тогда общий интервал составит 2,20 – 0,80 = 1,40 *дан*. Разделив этот интервал на семь частных интервалов, т. е. приняв величину частного

$$c_x = \frac{1,40}{7} = 0,20 \text{дан}$$

интервала равной c_x , и выполнив все последующие операции, получим таблицу распределения частот в виде столбцов 1 или 2 и 3 (см. табл. 10.4).

Таблица 10.4

Интервалы $\Delta x = 0,2$ дан	x	m	ω	$y = \frac{\omega}{c_x}$
1	2	3	4	5
0,80-1,00	0,9	∴ 3	0,06	0,3
1,00-1,20	1,1	□ 8	0,16	0,8
1,20-1,40	1,3	⊠ 10	0,20	1,0
1,40-1,60	1,5	⊠ 11	0,22	1,1

1,60-1,80	1,7	▣ ₉	0,18	0,9
1,80-2,00	1,9	▣ ₆	0,12	0,6
2,00-2,20	2,1	▣ ₃	0,06	0,3
		$n = \sum m = 50$	$\sum \omega = 1,00$	

Пользуясь таблицей распределения (столбцы 1, 2 и 3 табл. 10.4), можно в какой-то степени охарактеризовать соответствующее массовое явление – в данном примере процесс прядения в отношении прочности пряжи. Прежде всего можно сделать вывод, что наиболее часто ($m = 11$) встречаются образцы средняя прочность данной пряжи приблизительно равна 1,50 дан. Далее из табл. 10.4 видно, что сосредоточенность различных значений прочности около средней невелика, а это указывает на большую неровноту пряжи по прочности, т. е. на то, что с данной машины идет плохая пряжа, и т. д.

Обычно общий интервал делят на 5–17 частных интервалов. Дело в том, что при слишком большом числе частных интервалов сами интервалы будут малы и в некоторые из них может попасть вариантов значительно меньше, чем в соседние, и даже совсем не попасть. Вследствие этого общая картина распределения признака совокупности не выявится.

Пример 10.5. Проведено 200 замеров времени, затрачиваемого работницей на ликвидацию обрыва пряжи. Это время изменяется от 2 до 6 сек.

Разбив общий интервал $6 - 2 = 4$ сек на 20 частных интервалов $\left[\begin{matrix} \text{▣} \\ \text{▣} \end{matrix} \right]_{x = \frac{4}{20} = 0,2}$, составим таблицу распределения (табл. 10.5).

Таблица 10.5 Таблица 10.6

$\text{▣}_{x = 0,2 \text{сек}}$	m		$\text{▣}_{x = 0,6 \text{сек}}$	m
2,0–2,2	1			
2,2–2,4	0		2,0–2,6	1
2,4–2,6	0			
2,6–2,8	1			
2,8–3,0	3		2,6–3,2	10
3,0–3,2	6			

3,2–3,4	4		
3,4–3,6	35		3,2–3,8
3,6–3,8	28		67
3,8–4,0	35		
4,0–4,2	28		3,8–4,4
4,2–4,4	5		68
4,1–4,6	42		
4,6–4,8	2		4,4–5,0
4,8–5,0	0		44
5,0–5,2	8		
5,2–5,4	1		5,0–5,6
5,4–5,6	0		9
5,6–5,8	0		
5,8–6,0	1		5,6–6,0
			1
	$n = \sum m = 200$		$n = \sum m = 200$

Как видим из табл. 10.5, частоты m имеют «провалы». В таких случаях рекомендуется частные интервалы укрупнять.

Группируя частные интервалы по три и осуществляя соответствующее сложение частот в табл. 10.5, получим новую таблицу распределения (табл. 10.6), которая выявляет характер распределения значительно четче.

При слишком малом числе частных интервалов, наоборот, картина распределения признака в отдельных частях общего интервала может затушеваться.

Рекомендуется следующее количество k частных интервалов C_x в зависимости от объема выборки n (табл. 10.7).

Таблица 10.7

n	40–60	60–100	100–200	200–500
k	5–7	7–10	10–14	14–17

Таблица распределения частот характеризует распределение вариантов в статистической совокупности в том случае, если эту таблицу рассматривать в целом. Если же взять отдельно лишь какую-нибудь одну пару значений x и m (например, $x = 1,1$ и $m = 6$), то они сами по себе ничего не говорят о том, что этот вариант $x = 1,1$ встречается чаще или реже по сравнению с другими. Все зависит от величины объема n выборки. Если $n = 50$, то $m = 6$ составляет 12%, если же $n = 500$, то $m = 6$ составляет лишь 1,2%.

Для более полной и разносторонней характеристики распределения признака, наряду с таблицами распределения частот, целесообразно пользоваться таблицами распределения частостей. Эти таблицы отличаются от таблиц распределения частот тем, что они содержат вместо частот m частости ω .

Приведем в общем виде таблицу распределения частостей (табл. 10.8).

Таблица 10.8

X	x_1	x_2	...	x_k
ω	ω_1	ω_2	...	ω_k

Здесь x_1, x_2, \dots, x_k являются или различными вариантами (в случае дискретного изменения признака), или серединами частных интервалов (для случая непрерывного признака).

Таблицы распределения представляют собой таблично-заданные функции, связывающие численности m или частости ω с вариантами x или с серединами частных интервалов. Эти функции характеризуют распределение признака в выборочных совокупностях и выражают эмпирические законы распределения признака.

^ 10.5. Полигоны. Гистограммы

Если по оси абсцисс откладывать значения признака X , а по оси ординат частоту m или частости ω вариантов, взятые из таблицы распределения, то получим ряд точек. Соединив их, получим ломаную линию, называемую полигоном численностей или частостей.

При непрерывном изменении признака для построения полигонов берут частоту или частости не отдельных вариантов, а вариантов, приходящихся на частные интервалы. Тогда по оси абсцисс откладывают середины частных интервалов, а по оси ординат – интервальные численности или частости (см. рис. 10.1).

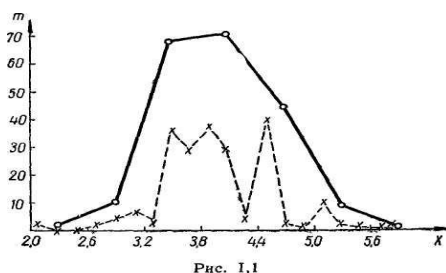


Рис. 10.1

Полигоны частот и частостей, подобно таблицам распределения, являются эмпирическими законами распределения, только в виде графиков.

Необходимо иметь в виду, что при изучении массового явления посредством полигонов частот или частостей мы имеем положение в некотором смысле противоположное тому, с каким имели дело в математическом анализе. Там равномерность процесса характеризовалась пологостью линии графика функции, изображающей математически этот процесс. Чем круче была эта линия, тем с большей скоростью происходило изменение какой-то величины. В математической статистике же, наоборот, чем круче полигон, тем равномернее процесс. Причиной такой разницы является то, что в полигоне ординатами служат не сами величины, связанные с изучаемым явлением, а частоты или частости. В случае абсолютно ровной продукции все варианты одинаковы и полигон превращается в наложенные один на другой два отрезка прямой перпендикулярной оси абсцисс.

На рис. 10.1 пунктирной линией изображен полигон, построенный по данным табл. 10.5 Он не отражает общего характера распределения. Для выявления общего распределения увеличиваем величину частных интервалов (см. табл. 10.6). Полигон, изображенный сплошной линией, построен по данным табл. 10.6 и уже дает общую картину распределения.

Гистограммы

Поскольку задачей математической статистики является изучение распределения признака в генеральной совокупности с помощью распределения в выборочных совокупностях, возникает вопрос: нельзя ли график генерального распределения представить в виде кривой, около которой колеблются полигоны (графики выборочных распределений), если увеличить объем n выборки и число k частных интервалов. Очевидно, посредством полигонов этого сделать нельзя, так как с увеличением числа частных интервалов их длины Δx будут уменьшаться, а при этом, как мы видели, может искажаться общий характер распределения.

Отмеченным недостатком не обладает другой графический способ изображения эмпирического закона распределения непрерывного признака – гистограммы.

Гистограммой частостей называется ступенчатый график, состоящий из прямоугольников, у которых основаниями служат частные интервалы Δx_i на оси абсцисс, а площади равны частостям o_i вариантов, попадающих в эти интервалы.

$$y_i = \frac{o_i}{\Delta x_i}$$

Такие выражения называются плотностями частостей.

На рис. 10.2. изображена гистограмма, соответствующая таблице распределения в примере 10.4. (табл. 10.4). В столбце 5 табл. 10.4 подсчитаны плотности частот.

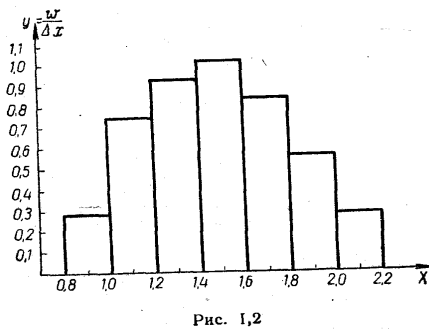


Рис. 10.2

У наиболее часто встречающихся на практике гистограмм имеется один максимум, т. е. одна наивысшая ступенька, соответствующая некоторому интервалу ζ_x , называемому *модальным интервалом*.

Гистограммы двух равных по объему совокупностей с одинаковыми модальными интервалами, могут отличаться крутизной. Это означает, что у статистической совокупности, имеющей более крутую гистограмму, сосредоточенность вариантов большая, чем у совокупности, имеющей менее крутую гистограмму.

Пример 10.6. Даны две совокупности, каждая из которых состоит из результатов испытаний на прочность 100 образцов утка 25 *текс*, вырабатываемого на двух разных машинах. Эти результаты испытаний приведены в таблице распределения (табл. 10.9).

Соответствующие гистограммы частот изображены на рис 10.3 и 10.4. Площади этих гистограмм одинаковы, средние прочности также приблизительно равны (270 сН), но вторая гистограмма круче первой, и, следовательно, значения прочности здесь менее рассеяны. А это значит, что вторая машина работает лучше и пряжа, вырабатываемая на ней, более ровная.

Таблица 10.9

Первая машина			Вторая машина		
$\zeta_x = 20\text{сН}$	$\alpha(\%)$	$y = \frac{n}{\zeta_x}$	$\zeta_x = 20\text{сН}$	$\alpha(\%)$	$y = \frac{n}{\zeta_x}$
200-220	4	0,20	200-220	0	0
220-240	6	0,30	220-240	2	0,10

240-260	16	0,80	240-260	12	0,60
260-280	36	1,80	260-280	64	3,20
280-300	24	1,20	280-300	16	0,80
300-320	10	0,50	300-320	4	0,20
320-340	4	0,20	320-340	2	0,10
	n=100			n=100	

Таблицы распределения и гистограммы – это результат обработки отдельных выборок из генеральной совокупности. Они характеризуют распределение признака лишь в данной выборочной совокупности, а для генеральной совокупности дают лишь приближенную картину распределения. Приближение будет тем точнее, чем больше объем выборки и чем больше частных интервалов (чем меньше каждый из них).

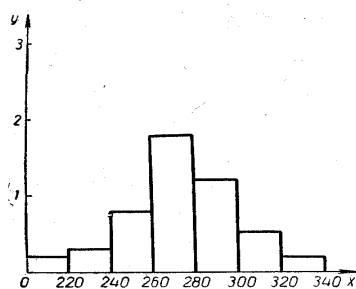


Рис. 1,4

Рис. 10.3

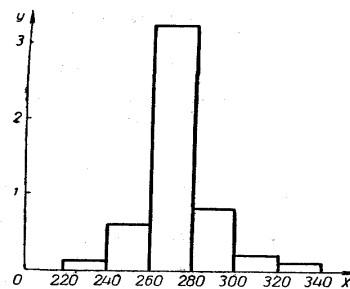


Рис. 1,5

Рис. 10.4

В отличие от полигонов, гистограммы частот с уменьшением частных интервалов Δx не опускаются на ось абсцисс, а колеблются около некоторой кривой, которая графически определяет некоторую функцию.

$$y = f(x)$$

Эта функция характеризует уже распределение признака во всей генеральной совокупности. Она в свою очередь определяет **генеральный закон распределения**. Соответствующая кривая носит название кривой распределения. Знание этой функции в аналитическом виде (в виде формулы) для того или иного массового явления позволяет исчерпывающе изучать это явление методами математического анализа.

10.6. Статистические характеристики

Законы распределения в виде различных таблиц распределения, полигонов, гистограмм и т. д. дают общий характер распределения признака в выборке. По ним можно приблизительно судить о том, около какой средней величины группируются варианты, значительно ли они рассеяны по отношению к средней, симметрично распределены или нет и т. д. В частности, степень рассеяния оценивается с помощью крутизны графика. Но все это оценки субъективного характера, так как одному гистограмма может показаться достаточно крутой, а другому нет.

Математическая статистика позволяет характеризовать особенности распределения объективно – посредством особых величин, называемых статистическими характеристиками.

^ Статистическими характеристиками называются отдельные величины, которые характеризуют с той или иной стороны всю совокупность в целом.

Первой и простейшей статистической характеристикой является **средняя величина** признака (средняя длина волокна, средняя прочность пряжи, средний рост человека и т. д.). Легко, однако, убедиться, что одной средней величины признака недостаточно. Необходима характеристика, дающая оценку *рассеяния* вариантов всей совокупности около средней.

Пример 10.7. Две прядильные машины вырабатывают пряжу 25 текс. В результате испытаний некоторого количества полуметровых образцов на прочность и подсчета средней прочности образцов по каждой машине получены следующие результаты (табл. 10.10).

Таблица 10.10

Машина	Прочность X образцов пряжи, сН					Средняя прочность, сН
Первая	210	260	270	280	330	270
Вторая	245	265	270	275	295	270

Для простоты расчетов в каждом случае проведено пять испытаний. На практике же таких испытаний осуществляют гораздо больше.

Если работу машин оценивать только по средней величине прочности пряжи, то может показаться, что обе машины работают одинаково. На самом же деле из таблицы видно, что вторая машина работает лучше, так как варианты прочности пряжи, вырабатываемой на этой машине, более сосредоточены около их средней. Продукция второй машины имеет меньшую неровноту (рассеяние) и, очевидно, поэтому вторая машина работает лучше, чем первая.

Пример 10.8. На прядильную фабрику поступил хлопок в кипах с двух хлопкоочистительных заводов. Требуется определить, можно ли из этого хлопка вырабатывать пряжу нужного текста, а если нельзя, то пряжу какого текста целесообразнее из него получать.

Прежде всего нужно найти среднюю длину волокна (ведь чем длиннее волокно, тем более низким может быть текст пряжи).

Проведенные измерения длины волокон из обеих кип дали результаты, представленные в табл. 10.11.

Таблица 10.11

Кипы	Длина волокна, мм					Средняя длина волокна, мм
	25	30	35	40	40	
Первая	25	30	35	40	40	34
Вторая	30	31	32	32	33	31,6

Как видно из табл. 10.11, средняя длина волокна из первой кипы больше, чем из второй, но отсюда еще не вытекает, что хлопок в первой кипе лучше. Во второй кипе хлопок ровнее, т. е. длины отдельных волокон распределены около своей средней величины (31,6) более сосредоточенно.

Итак, второй характеристикой должна быть **мера рассеяния**.

Но и этой характеристики иногда недостаточно, в связи с чем приходится вводить ряд других характеристик.

Некоторые из перечисленных характеристик имеют несколько разновидностей. В частности, средняя величина может быть арифметической, квадратической, кубической, геометрической, гармонической, модой и др.

^ Средняя арифметическая

Основным видом средней в математической статистике является средняя арифметическая величина. Она может быть *простой* или *взвешенной*, в зависимости от того, как дана совокупность – первоначальной таблицей или таблицей распределения частот.

Если совокупность дана первоначальной таблицей.

$x_1; x_2; \dots; x_n$

то средняя арифметическая величина определяется формулой

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Если совокупность дана таблицей распределения частот, то по формуле

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k m_i x_i}{\sum_{i=1}^k m_i} = \frac{\sum_{i=1}^k m_i x_i}{n} \quad (10.1)$$

В этом случае средняя арифметическая называется взвешенной.

