

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Казань 2017

УДК 631.362
ББК 40.728.5
Н 90

Автор: доктор технических наук, профессор **Нуруллин Э. Г.**

Рецензенты:

– заведующий кафедрой «Энергообеспечение предприятий и энергоресурсосберегающих технологий» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», доктор технических наук, профессор **Ильин В. К.**

– заведующий кафедрой «Тракторы, автомобили и энергетические установки» ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», доктор технических наук, профессор **Хафизов К. А.**

Нуруллин Э. Г.

Н 90 Основы научных исследований: Учебное пособие / Э. Г. Нуруллин. – Казань: Казанский ГАУ, 2017. – 96 с.

Одобрено и рекомендовано к печати на заседании кафедры «Машины и оборудование в агробизнесе» 19 апреля 2017 г. Протокол № 10.

Одобрено и рекомендовано к печати методической комиссией Института механизации и технического сервиса 21 апреля 2017 г. Протокол № 9.

Рассматриваются методологические основы научного познания, виды, направления и последовательность научных исследований, основы теоретических и экспериментальных исследований, инновации в научных исследованиях. Даны фонды оценочных средств для текущего и промежуточного контроля знаний обучающихся.

Предназначено обучающимся на уровне магистратуры по направлению подготовки 35.04.06 «Агроинженерия» для аудиторной и самостоятельной работы. Может быть использовано магистрантами и аспирантами других направлений. Направлено на формирование набора компетенций, необходимых для выполнения профессиональной деятельности.

УДК 631.362
ББК 40.728.5
Н 90

© Нуруллин Э. Г., 2017 г.

© ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», 2017 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ.....	6
1.1 Содержание основных понятий.....	6
1.2 Уровни научного познания.....	9
1.3 Этапы научного познания.....	11
1.4 Методы исследования.....	14
2. ВИДЫ, НАПРАВЛЕНИЯ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	19
2.1 Виды научных исследований.....	19
2.2 Направления научных исследований.....	21
2.3 Последовательность выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.....	23
3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	27
3.1 Цели, задачи и стадии теоретических исследований.....	27
3.2 Математические методы в теоретических исследованиях.....	30
4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	31
4.1 Цель, типы экспериментальных исследований и их задачи.....	32
4.2 Программа и методика экспериментальных исследований.....	41
4.3 Метрологическое обеспечение экспериментальных исследований.....	44

5	ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	52
5.1	Задач и методы обработки результатов экспериментальных исследований.....	52
5.2	Анализ погрешностей (ошибки) эксперимента.....	54
5.3	Определение минимального количество опытов.....	66
6	ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.....	69
6.1	Методологические основы применения метода имитационного моделирования.....	69
6.2	Классификация имитационных моделей.....	75
6.3	Основные этапы имитационного моделирования.....	83
7	МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ.....	90
7.1	Основные положения теории прогнозирования.....	90
7.2	Применение методов прогнозирования для решения прикладных задач.....	94
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	107

ВВЕДЕНИЕ

Современный мир характеризуется глобализацией, высокой конкуренцией, динамично растущими объемами научно-технической информации и научными открытиями, высокими темпами обновления знаний, инновационным развитием ведущих экономик. Эти условия непрерывно выдвигает все новые неотложные задачи перед высшей школой в направлении повышения качества подготовки специалистов, способных в практической работе использовать самые последние достижения науки и техники и активно участвовать в получении новых научных результатов. Подготовка высококвалифицированных кадров с высшим образованием, имеющих высокую профессиональную и общенаучную подготовку, способных к самостоятельной творческой работе, к внедрению в производственный процесс новейших и прогрессивных результатов имеет важнейшее значение для развития инновационной экономики.

С этой целью в учебные планы многих направлений вузов на уровне академической магистратуры и подготовки кадров высшей квалификации включена дисциплина «Основы научных исследований».

Данное учебное пособие предназначено для обучающихся на уровне магистратуры по направлению 35.04.06 «Агроинженерия» и направлено на формирование компетенций, требуемых соответствующим Федеральным государственным образовательным стандартом. Выпускники, успешно освоившие программу данной дисциплины, должны владеть логическими методами и приемами научного исследования, методами анализа и прогнозирования экономических эффектов и последствий реализуемой и планируемой деятельности. Оно составлено в соответствии с рабочей программой дисциплины, и полностью включает предусмотренный в ней материал лекционного курса и практических занятий.

В учебном пособии также приведены фонды оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся.

1 МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ

1.1 Содержание основных понятий

Методология научного познания базируется на определенном категорийном и понятийном аппарате. *Понятие* – это мысль, отражающая существенные и необходимые признаки предмета или явления. Наиболее широкие понятия называются *категориями*.

Для понимания особенностей современной их интерпретации начинающими научными исследователями, рассмотрим наиболее ключевые понятия и категории научного познания.

Наука есть сфера познавательно-исследовательской деятельности, направленная на получение новых знаний о человеке и отраженных в его сознании представлениях созданного им и существующего без него окружающего материального и нематериального мира.

Наука возникает в результате отделения умственного труда от физического и превращения познавательной деятельности в специфический род занятий особой группы людей.

Появление крупного машинного производства создает условия превращения науки в активный фактор самого производства. В условиях научно-технической революции происходит коренная перестройка науки, уже не просто следующей за развитием техники, а обгоняющей ее, становящейся ведущей силой прогресса материального производства.

Необходимость научного подхода в материальном производстве, в экономике и в политике, в сфере управления и в системе образования заставляет науку развиваться более быстрыми темпами, чем любую другую отрасль деятельности.

Современный мир во всех его элементах и во всех видах его деятельности пронизано влиянием науки и техники. В наши дни наука выступает как главной движущей силой общества и общественного производства.

Наука как сфера исследовательской деятельности осуществляется в различных областях, связанных, в том числе с *техникой*, которая является частью, созданного человеком материального мира.

Технические науки есть специфическая познавательно-исследовательская деятельность по целенаправленному преобразованию природных тел и процессов в технические объекты, которые способны эффективно функционировать в системе общественного производства.

Техническая политика, учитывая данные научно-технических прогнозов, реальные ресурсы, которыми располагает страна, а также задачи внешней политики, определяет научно обоснованные важные и перспективные направления развития технического прогресса

Научно-исследовательская работа требует огромного умственного и физического потенциала.

В основе науки лежит *познание* – процесс движения человеческой мысли от незнания к знанию. Научное познание базируется на собственной методологии.

Методология, в общем случае, это учение о методах. *Методология научного познания* – учение о методах научно-исследовательской деятельности для получения новых знаний и законов, доказательства гипотез и суждений.

Метод – это путь достижения цели. *Метод научного исследования* – систематизированная совокупность разработанных методик для достижения поставленной научной цели.

Методика исследования – это алгоритм, совокупность действий в определенной последовательности, способов, приемов исследования.

Знание – идеальное воспроизведение в языковой форме обобщенных представлений о закономерных связях объективного мира.

Функциями знания являются:

– обобщение разрозненных представлений о закономерностях природы, общества и мышления;

– хранение в обобщенных представлениях всего того, что может быть передано в качестве устойчивой основы практических действий.

В основе познания лежит *практика* – отражение объективной действительности в сознании человека в процессе его общественной, производственной и научной деятельности.

Потребности практики выступают основной и движущей силой развития познания, его целью. Познание вырастает из практики, но затем само направляется на практическое овладение действительностью. Практика является началом, исходным пунктом и одновременно естественным завершением всякого процесса познания. Следует отметить, что процесс познания бесконечен, так как в процессе познания, как правило, возникают новые проблемы и новые задачи, которые были подготовлены и поставлены предшествующим развитием научной мысли.

Наука должна опережать практику и таким образом сознательно направлять ее развитие.

Вся наука, все человеческое познание направлены к достижению истинных знаний, верно отражающих действительность.

Истинные знания существуют в виде законов науки, теоретических положений и выводов, учений, подтвержденных практикой и существующих объективно, независимо от трудов и открытий ученых. Поэтому истинное научное знание объективно.

Вместе с тем научное знание может быть *относительным* и *абсолютным*.

Относительное знание – знание, которое, будучи в основном верным отражением действительности, отличается некоторой неполнотой совпадения образа с объектом.

Абсолютное знание – это полное, исчерпывающее воспроизведение обобщенных представлений об объекте, обеспечивающее абсолютное совпадение образа с объектом. Абсолютное знание не может быть опровергнуто или изменено в будущем.

1.2 Уровни научного познания

С философской точки зрения познание включает в себя два уровня: *чувственный и рациональный*.

1. *Чувственное познание* формирует эмпирическое знание и обеспечивает непосредственную связь человека с окружающей действительностью.

Инструментами чувственного познания являются:

Ощущение – это отражения мозгом человека свойств окружающей действительности, которые действуют на его органы чувств.

Восприятие – первичный чувственный образ отражения мозгом человека окружающей действительности в целом, в данный момент времени.

Представление – вторичный образ окружающей действительности, не в данный момент времени, а восстановленные по сохранившимся в мозге следам прошлых воздействий.

Воображение – это соединение и преобразование различных представлений в целую картину новых образов.

2. *Рациональное познание* формирует теоретическое знание, дополняя и опережая чувственное познание, и обеспечивает косвенное осознание сущности процессов и закономерностей развития окружающей действительности.

Основными инструментами рационального познания являются формы логического отражения окружающей действительности: *понятие, суждение, умозаключение*. Рассмотрим их более подробно.

Понятие – это мысль, отражающая существенные и необходимые признаки действительности.

Классификация инструмента «понятие».

А. По признаку объема:

- общие, которые связаны не с одним, а с множеством предметов;
- единичные;
- собирательные;

- абстрактные и конкретные;
- абсолютные и относительные.

Б. По признаку отношений между собой:

- *тождественные*, которые имеют одинаковое содержание, т. е. это одни и те же понятия, только выраженные в различной словесной форме;
- *равнозначные*, которые имеют один и тот же объем, но отличаются по содержанию.

Отношения тождества и равнозначности понятий имеют чрезвычайно важное значение в науке, так как делают возможным замещение одного понятия другим. Этой операцией широко пользуются в математике при преобразовании и упрощении алгебраических соотношений.

- *подчиненные*, которые по содержанию входят в понятия более высокого ранга или более общие; например, понятия "многоугольник" и "окружность" являются подчиненными понятию "геометрическая фигура" и соподчиненными между собой.

- *частично согласные*, когда отдельные части объема понятий оказываются совпадающими;

- *противоречащие*, которые отрицают положительное понятие;

- *противоположными*, которые указывают не только на то, что отрицает, но и на то, что взамен отрицаемого утверждается.

Суждение – мысль, в которой посредством связи понятий утверждается или отрицается что-либо, т.е. это сопоставление понятий, устанавливающих объективную связь между мыслимыми предметами и их признаками или между предметом и классом предметов.

К суждению о предмете или явлении можно прийти или путем непосредственного наблюдения какого-либо факта, или опосредованным (косвенным) путем через умозаключение.

Умозаключение – последовательность двух или нескольких суждений, в результате которых выводится новое суждение. Часто умозаключение называют выводом, через который становится возможным переход от

мышления к действию, практике.

Инструменты умозаключения:

– *дедуктивные* выведение частного случая из какого-нибудь общего положения;

– *индуктивные* на основании частных случаев приходят к общему положению;

– *непосредственные*, когда от одного суждения приходят к другому;

– *опосредованные*, когда переход от одного суждения к другому осуществляется через посредство третьего.

– *превращенные*, когда в процессе умозаключения изменяется форма суждения (утвердительное суждение становится отрицательным, и наоборот), при этом смысл и количество суждения сохраняются.

Понятия и категории, инструменты научного познания являются базой научных исследований.

1.3 Этапы научного познания

Научное познание, являясь сферой исследовательской деятельности, направленной на получение новых знаний состоит из следующих уровней:

1. Возникновение научной идеи.

Научная идея – интуитивное объяснение явления без промежуточной аргументации, без осознания всей совокупности связей, на основании которой делается вывод. Она базируется на уже имеющемся знании, но вскрывает ранее не замеченные закономерности. Свою специфическую материализацию идея находит в *гипотезе*.

2. Формирование понятий и суждений по возникшей идеи. (см. раздел 1.1).

3. Выдвижение гипотезы.

Гипотеза – предположение о причине, которая вызывает данное следствие. В процессе познания каждая гипотеза подвергается проверке, в результате которой устанавливается, что следствия, вытекающие из гипотезы,

действительно совпадают с наблюдаемыми явлениями, что данная гипотеза не противоречит никаким другим гипотезам, которые считаются уже доказанными.

С накоплением новых фактов одна гипотеза может быть заменена другой лишь в том случае, если эти новые факты не могут быть объяснены старой гипотезой или ей противоречат. При этом часто старая гипотеза не отбрасывается целиком, а только исправляется и уточняется. По мере уточнения и исправления гипотеза превращается в *закон*.

Закон – внутренняя, существенная связь между явлениями или свойствами окружающей действительности. Закон выражает определенную устойчивость.

Закон, найденный путем догадки, должен быть затем, логически доказан, только тогда он признается наукой. Для доказательства закона наука использует суждения, которые были ранее признаны истинными и из которых логически следует доказываемое суждение.

Иногда противоречивые суждения в равной мере оказываются доказуемыми. В таких случаях говорят о возникновении *парадокса* в науке, что всегда свидетельствует о наличии ошибок в логике доказательства или несостоятельности исходных суждений в данной системе знаний. Следует отметить парадокс в широком смысле и парадокс в узком смысле.

Парадокс в широком смысле – это утверждение, резко расходящееся с общепринятым, установившимся мнением, отрицание того, что представляется «безусловно правильным».

Парадокс в узком смысле – это два противоположных утверждения, для каждого из которых имеются представляющиеся убедительными доказательства.

Парадоксальность является характерной чертой современного научного познания мира.

Основные пути разрешения парадоксов: устранение ошибок в логике доказательств; совершенствование исходных суждений в данной системе знаний.

Если выдвинутая гипотеза превращается в закон и согласуется с наблюдаемыми фактами окружающей среды (практикой), то в науке ее называют *теорией*.

Теория (от лат. *theoreo* - рассматриваю) – система обобщенного знания, объяснения тех или иных сторон действительности. Теория является духовным, мысленным отражением и воспроизведением реальной действительности. Она возникает в результате обобщения познавательной деятельности и практики. Это обобщенный опыт в сознании людей.

Структуру теории формируют законы, суждения, положения, понятия, категории, факты (см. 1.1), принципы и аксиомы.

Принцип – это правило, возникшее в результате субъективно осмысленного опыта людей. Под принципом в научной теории понимается самое абстрактное (отвлеченное) определение идеи, т. е. начальная форма систематизации знаний.

Исходные положения научной теории называются *аксиомами* или *постулатами*. В современной логике и методологии науки эти понятия взаимозаменяемые.

Аксиома (постулат) – это положение, которое берется в качестве исходного, недоказуемого в данной теории, и из которого выводятся все остальные предложения и выводы теории по заранее фиксированным правилам. Аксиомы очевидны без доказательства.

Теория слагается из относительно устойчивого ядра и его оболочки. В ядро входят основные принципы. Оболочка теории содержит вспомогательные гипотезы, конкретизирующие ее ядро. Она определяет проблемы, подлежащие дальнейшему исследованию, предвидит факты, не согласующиеся с теорией, и истолковывает их так, что они превращаются в примеры, подтверждающие ее.

Теория является наиболее развитой формой обобщенного научного познания. Она включает в себе не только знания основных законов, но и объяснение фактов на их основе. Теория позволяет открывать новые законы и предсказывать будущее.

1.4 Методы исследования

Метод как способ достижения цели объединяет объективные и субъективные моменты познания.

Метод объективен, так как в разрабатываемой теории позволяя отражать действительность и ее взаимосвязи, является программой построения и практического применения теории.

Одновременно метод субъективен, так как является орудием мышления исследователя (человека), соответственно включает в себя его (человека) субъективные особенности.

Методы исследования можно разделить на:

1. Общенаучные, которые применяются для всех наук.
2. Частные – для определенных наук.
3. Специальные или специфические, применяемые только для данной.

Такое разделение условное, так как две последние группы являются развитием общенаучных методов. Поэтому более подробно рассмотрим общенаучные методы исследования.

Классификация общенаучных методов исследования:

1. Методы теоретического уровня.

Они позволяют производить логическое исследование собранных фактов, выработку понятий и суждений, делать умозаключения, создавать теоретические обобщения, надстраиваясь над опытными знаниями.

– *обобщение* – определение общего понятия, в котором находит отражение главное, основное, характеризующее объекты данного класса; это средство для образования новых научных понятий, формулирования законов и теорий;

– *абстрагирование* – мысленное отвлеченное представление упрощенной модели объекта и предмета исследования, свободного от несущественных свойств и связей, с охранением главного;

– *формализация* – отображение объекта или явления в знаковой форме какого-либо искусственного языка (математики, химии и т.д) и обеспечение возможности исследования реальных объектов и их свойств через формальное исследование соответствующих знаков;

– *аксиоматика* – построение научной теории, при котором некоторые утверждения (аксиомы) принимаются без доказательств и затем используются для получения остальных знаний по определенным логическим правилам;

– *анalogии* – достижение знаний о предметах и явлениях на основании того, что они имеют сходство с другими (тесно связана с моделированием или модельным экспериментом);

– *гипотетический* – предполагает формулировку, разработку составление модели научной гипотезы на основе изучения физической, химической и т.п. сущности исследуемого явления с последующим изучением и анализом;

– *идеализация* – мысленное конструирование практически неосуществимых объектов (например, идеальный газ, абсолютно твердое тело), когда реальные объекты лишаются некоторых присущих им свойств и наделяются гипотетическими (предполагаемыми) свойствами (сопутствует гипотетическому методу);

– *анализ* – расчленение или разложение объекта и предмета исследования (составляет основу аналитического метода);

– *синтез* – соединение отдельных сторон объекта и предмета исследования в единое целое;

– *дедукция, индукция и т. д..*

2. Методы эмпирического уровня.

Они конкретно связаны с изучаемыми явлениями и используются на этапе формирования научной гипотезы.

– *наблюдение* – способ познания объективного мира, основанный на непосредственном восприятии предметов и явлений при помощи органов чувств без вмешательства в процесс со стороны исследователя;

– *сравнение* – установление различия между объектами материального мира или нахождение в них общего, осуществляемое как при помощи органов чувств, так и при помощи специальных устройств;

– *счет* – это нахождение числа, определяющего количественное соотношение однотипных объектов или их параметров, характеризующих те или иные свойства;

– *измерение* – физический процесс определения численного значения некоторой величины путем сравнения ее с эталоном;

– *эксперимент* – одна из сфер человеческой практики, в которой подвергается проверке истинность выдвигаемых гипотез или выявляются закономерности объективного мира;

– *анкетный опрос, собеседование, тесты, метод проб и ошибок и т.д.*

3. Методы экспериментально-теоретического уровня.

Эти методы помогают исследователю обнаружить те или иные достоверные факты, объективные проявления в протекании исследуемых процессов. С помощью этих методов производится накопление фактов, их перекрестная проверка.

– *моделирование* – достижение знаний о предметах и явлениях на основании их физических (модельный эксперимент) и теоретических (математических, компьютерных) моделей;

– *эксперимент, анализ, синтез, дедукция, индукция, гипотетический, исторический и логические методы и т.д.*

4. Системные методы.

Применяются при исследованиях сложных систем с многообразными связями, характеризуемыми как непрерывностью и дискретностью (раздельность), так и случайностью и детерминированностью (закономерность). Эти методы получили широкое распространение в связи с развитием информационных технологий (ИТ).

– *исследование операций*;

– *теория массового обслуживания*;

– *теория управления*;

– *теория множеств*;

– *и т. д.*

5. *Методы метатеоретического уровня.*

Метатеория (от греч. «*мета*» – за, после) – это теория о теории. Метатеоретический уровень исследований представляет собой второй «этаж» научного исследования, на котором происходит самопознание науки. С помощью этих методов исследуются сами теории и разрабатываются пути их построения, изучается система положений и понятий данной теории, устанавливаются границы ее применения, способы введения новых понятий, обосновываются пути синтезирования нескольких теорий.

– *диалектика* – исследование предметов и явлений в их развитии путем вскрытия внутренних противоречий и борьбы противоположностей;

– *системный анализ* – исследование сложных, взаимосвязанных друг с другом проблем путем рассмотрения их как взаимосвязь отдельных систем, состоящих из подсистем и взаимодействующих с внешней средой.

Поскольку современные научные исследования в технических науках характеризуются сложными, взаимосвязанными друг с другом системами, решение которых трудно представить без других наук (математики, физики, химии, гидравлики, теплотехники, теоретической механики, аэродинамики и и т.д.) *метод системного анализа* рассмотрим более подробно.

В основе системного анализа лежит понятие системы, под которой понимается множество объектов (компонентов), обладающих заранее определенными свойствами с фиксированными между ними отношениями. На базе этого понятия производится учет связей, используются количественные сравнения всех альтернатив для того, чтобы сознательно выбрать наилучшее решение, оцениваемое каким-либо критерием, например измеримостью, эффективностью, надежностью и т.п.

Системный анализ выполняется в четыре этапа:

1. Постановка задачи. Определяются объект, цели и задачи исследования, а также критерии для изучения и управления объектом. Следует подчеркнуть, что неправильная или неполная постановка целей может свести на нет результаты всего последующего анализа.

2. Определение границ изучаемой системы и ее структуры. Объекты и процессы, необходимые для достижения поставленной цели, разбиваются на собственно изучаемую (внутреннюю) и внешнюю системы.

3. Составление математической модели исследуемой системы. Вначале определяются параметры системы, затем с их помощью описываются выделенные элементы системы и их взаимодействие. В зависимости от особенностей процессов используют тот или иной математический аппарат для анализа системы в целом.

Если исследуются сложные системы, именуемые как обобщенные динамические системы, характеризуемые большим количеством параметров различной природы, то в целях упрощения математического описания их расчленяют на подсистемы, выделяют типовые подсистемы, производят стандартизацию связей для различных уровней однотипных систем.

В результате третьего этапа системного анализа формируются законченные математические модели системы, описанные на формальном, например, алгоритмическом, языке.

4. Анализ полученной математической модели, определение ее экстремальных условий с целью оптимизации и формулирование выводов. Оптимизация заключается в нахождении оптимума рассматриваемой функции (математической модели исследуемой системы, процесса) и соответственно нахождения оптимальных условий поведения данной системы или протекания данного процесса. Оценку оптимизации производят по критериям, принимающим в таких случаях экстремальные значения.

2 ВИДЫ, НАПРАВЛЕНИЯ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Виды научных исследований

Научное познание, являясь сферой исследовательской деятельности, направленной на получение новых знаний, со своими инструментами является фундаментом научных исследований.

Цель научного исследования – всестороннее, достоверное изучение объекта, процесса или явления, их структуры, связей и отношений на основе разработанных в науке принципов и методов познания, а также получение и внедрение в производство (практику) полезных для человека результатов.

Любое научное исследование имеет свой *объект* и *предмет*.

Объектом научного исследования является материальная или идеальная система.

Предмет научного исследования – это структура системы, закономерности взаимодействия элементов внутри системы и вне ее, закономерности развития, различные свойства, качества и т.д.

Виды научных исследований:

1. По видам связи с производством и степени важности для народного хозяйства научные исследования подразделяются на работы направленные:

- А). На создание новых технологических процессов.
- Б). На создание новых машин и конструкций.
- В). Повышение эффективности производства.
- Г). Улучшение условий труда.
- Д). развитие личности человека.
- Е). и т.п..

2. По целевому назначению:

А). *Фундаментальные* направлены на открытие и изучение новых явлений и законов природы, на создание новых принципов исследования. Их целью является расширение научного знания общества, установление того, что может быть использовано в практической деятельности человека. Такие исследования ведутся на границе известного и неизвестного, обладают наибольшей степенью неопределенности.

Б). *Прикладные* направлены на нахождение способов использования законов природы для создания новых и совершенствования существующих средств и способов человеческой деятельности. Их цель – установление того, как можно использовать научные знания, полученные в результате фундаментальных исследований, в практической деятельности человека. В результате прикладных исследований на основе научных понятий создаются технические понятия. Прикладные исследования, в свою очередь, подразделяются на:

- *поисковые* направлены на установление факторов, влияющих на объект, отыскание путей создания новых технологий и техники на основе способов, предложенных в результате фундаментальных исследований;

- *научно-исследовательские работы*, в результате которых создаются новые технологии, опытные установки, приборы и т.п.;

- *опытно-конструкторские работы*, цель которых подбор конструктивных характеристик, определяющих логическую основу конструкции;

В). *Разработки* – целенаправленный процесс преобразования научно-технической информации, полученной в результате фундаментальных и прикладных исследований в форму, пригодную для освоения в промышленности. Они направлены на создание новой техники, материалов, технологии или совершенствование существующих. Конечной целью разработки является подготовка материалов прикладных исследований к внедрению.

3. По источникам финансирования:

- А). Госбюджетные по федеральным целевым программам.
- Б). Госбюджетные по региональным целевым программам.
- В). Гранты отечественных научных фондов.
- Г). Гранты зарубежных научных фондов.
- В). Гранты отечественных венчурных фондов.
- В). Гранты зарубежных венчурных фондов.
- Д). Договорные.

4. По длительности ведения исследования:

- А). Долгосрочные (более одного года).
- Б). Краткосрочные (в пределах одного года).

Кроме рассмотренных видов научные исследования классифицируются по направлениям. Рассмотрим их в следующем параграфе.

2.2 Направления научных исследований

Каждую научно-исследовательскую работу относится к определенному направлению и выполняется в определенной последовательности.

Под научным направлением понимается наука или комплекс наук, в области которых ведутся исследования. Основой научного направления является специальная наука или ряд специальных наук, входящих в ту или иную научную отрасль, а также специальные методы исследования и технические устройства.

Классификация направлений научных исследований:

1. По виду наук различают следующие направления научных исследований:

- А). Техническое.
- Б). Биологическое.
- В). Социальное.
- Г). Физико-техническое.
- Д). Историческое.
- Е). Другие направления с возможной последующей детализацией.

2. По объему и охвату научных исследований существуют следующие направления научных исследований:

А). Комплексная научная проблема, которая представляет собой совокупность проблем, объединенных единой целью.

Б). Научная проблема – это совокупность сложных теоретических и практических задач, решения которых назрели в окружающем мире.

В). Научная тема – является составной частью проблемы. В результате исследований по теме получают ответы на определенный круг научных вопросов, охватывающих часть проблемы. Обобщение результатов ответов по комплексу тем может дать решение научной проблемы.

Г). Научный вопрос – мелкие научные задачи, относящиеся к конкретной теме научного исследования.

Таким образом, рассмотренные классификации дают общее представление о сложившейся системе научных исследований и позволяют человеку, занимающемуся научной деятельностью, оценить её важность, определить целевое назначение, изыскать материальные и финансовые ресурсы, определить сроки исследования, правильно спланировать свою научно-исследовательскую работу и выполнить её в определенной последовательности.

2.3 Последовательность выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) любого вида и направления выполняется в определенной последовательности.

Последовательность выполнения НИР.

1. Формулировка темы в результате общего ознакомления с проблемой, в рамках которой предстоит выполнить исследование.

2. Разработка технико-экономического обоснования (ТЭО) темы, которое является основным исходным предплановым документом научных исследований и где приводятся:

- причины разработки (ее обоснование);
- краткий литературный обзор по теме исследования, в котором описываются уже достигнутый уровень исследований и ранее полученные результаты;
- результаты патентного поиска, по результатам которых определяется целесообразность закупки лицензий;
- актуальность и значимости работы для отрасли и страны;
- цель, задачи, объект, предмет и этапы исследования методы решения;
- область использования ожидаемых результатов НИР, возможность их практической реализации в данной отрасли;
- предполагаемый (потенциальный) экономический эффект;
- предполагаемые социальные результаты (рост производительности труда, качества продукции, повышение уровня безопасности и производственной санитарии, обеспечение охраны природы и окружающей среды);
- вывод о целесообразности и необходимости выполнения НИОКР.

3. Оценка эффективности и необходимости разработки темы на данном этапе, определяемая численными критериями. Для первоначальной оценки используется критерий экономической эффективности, которая рассчитывается по формуле:

$$k_{\mathcal{O}} = \frac{\mathcal{E}_{\Pi}}{Z_{\Pi}}, \quad (2.1)$$

где \mathcal{E}_{Π} – предполагаемый экономический эффект от внедрения, руб.;

Z_{Π} – затраты на научные исследования.

Чем больше значение $k_{\mathcal{O}}$, тем выше эффективность и необходимость темы.

Однако критерий $k_{\mathcal{O}}$ не учитывает объем внедряемой продукции, период внедрения, поэтому более объективным является критерий, вычисляемый по формуле:

$$K_{\dot{Y}} = \tilde{N}_{\dot{A}} \sqrt{\frac{\dot{O}}{C_{\dot{I}}}}, \quad (2.2)$$

где $C_{\dot{I}}$ – стоимость продукции за год после освоения научного исследования и внедрения в производство, руб.;

T – продолжительность производственного внедрения в годах;

Z_o – общие затраты на выполнение научного исследования, руб..

Чем больше значение $K_{\dot{Y}}$, тем выше народнохозяйственная эффективность темы, соответственно необходимость ее разработки возрастает.

4. Проведение теоретических исследований, целью которых является изучение физической сущности предмета. В результате теоретических исследований:

- обосновывается физическая модель;
- разрабатываются математические модели;
- разрабатываются компьютерные модели;

- анализируются полученные результаты;
- определяется направление, и обосновываются необходимость экспериментального подтверждения полученных теоретических результатов.

5. Подготовка и проведение экспериментальных исследований, которая включает:

- разработку задач, составление программы экспериментальных исследований;
- выбор и (или) разработка методики эксперимента, которые формулируются в виде методических указаний на проведение эксперимента;
- определение наличия нормативно-технических документов, регламентирующих требования к проведению эксперимента и (или) к результатам опытов;
- выбор и (или) изготовление экспериментального оборудования, приборов, средств измерений;
- оценка погрешности экспериментального оборудования, приборов, средств измерений их тарировка, при необходимости поверка в специализированных учреждениях;
- выбор методики обработки и оценки погрешности экспериментальных исследований;

После этого составляется рабочий план, в котором указываются объем экспериментальных работ, методы, техника, трудоемкость и сроки.

6. Проведение экспериментальных исследований. В процессе эксперимента исследователь вмешивается в изучаемый процесс с целью познания, при этом одни условия опыта изолируются, другие исключаются, третьи усиливаются или ослабляются. Экспериментальное изучение объекта или явления имеет определенные преимущества по сравнению с наблюдением, так как позволяет изучать явления в «чистом виде» при помощи устранения побочных факторов.

В результате экспериментальных исследований:

- проводится обработка и оценка погрешности опытных данных;
- полученные зависимости оформляются в виде графиков, таблиц или их комбинации;
- проводится анализ результатов экспериментальных исследований.

7. Проводится обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований, которое включает:

- сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований;
- уточнение теоретических зависимостей при их расхождении с опытными данными, при необходимости назначаются дополнительные эксперименты;
- общий анализ полученных результатов;
- сопоставление выдвинутой гипотезы с результатами теоретических и экспериментальных исследований;
- определение экспериментальных коэффициентов, с помощью которых теоретические зависимости могут превращаться в эмпирические формулы при необходимости.

8. Формулируются научные и производственные выводы.

9. Составляется научно-технический отчет.

10. Осуществляется внедрение результатов исследований в производство и определяется действительная экономическая эффективность, которые завершается оформлением актов о внедрении.

Успешное выполнение перечисленных этапов работы дает возможность представить образец к государственным испытаниям, в результате которых образец запускается в серийное производство. Разработчики при этом сопровождают разработку, осуществляют контроль и дают консультации.

3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Цели, задачи и стадии теоретических исследований

Цель – теоретических исследований выявление существенных связей исследуемого объекта, установление общих закономерностей и их формализация.

Задачи теоретического исследования:

- выделение в процессе синтеза знаний существенных связей исследуемого объекта с окружающей средой;
- объяснение и обобщение результатов экспериментальных исследований с выявлением общих закономерностей и их формализацией;
- выявление возможностей применения установленных закономерностей и расширение полученных результатов на другие объекты без повторения всего объема исследований;
- изучение объекта, недоступного для непосредственного исследования;
- повышение надежности экспериментального исследования объекта (обоснования параметров и условий наблюдения, точности измерений).

Теоретические исследования включают:

- анализ физической сущности процессов, явлений;
- формулирование гипотезы исследования;
- построение (разработка) физической модели;
- проведение математического исследования;
- анализ теоретических решений;
- формулирование выводов.

Если не удастся выполнить математическое исследование, то формулируется рабочая гипотеза в вербальной (словесной) форме с привлечением графиков, таблиц и т.д.

В технических науках необходимо всегда стремиться к применению математической формализации выдвинутых гипотез и выводов.

В процессе, теоретических исследований приходится непрерывно ставить и решать разнообразные по типам и сложности задачи в форме противоречий теоретических моделей, требующих разрешения.

Любая научная задача включает *условия* и *требования*.

Условия (данные) – это имеющаяся информация, из которой следует исходить при решении научной задачи. Их можно разделить на:

– *исходные* даются в первоначальной формулировке задачи (исходные данные);

– *привлеченные*, которые исследователь привлекает дополнительно при недостаточности исходных данных;

– *искомые* – это привлеченные условия, которые требуется отыскать в процессе решения задачи.

Требования – это цель, к которой стремиться исследователь в результате решения поставленной научной задачи. Их также можно разделить на:

– *исходные* возникают вначале решения задач исходя из исходных данных;

– *привлеченные*, которые исследователь привлекает дополнительно при недостаточности исходных требований для устранения противоречий, возникающих исходя из привлеченных условий;

– *искомые* – это привлеченные требования, которые требуется отыскать в процессе решения задачи.

Условия и требования определяют основные противоречия (направления) исследований, в результате устранения которых исследователь, приходит к непротиворечивым отношениям, т. е. к решению задачи.

Процесс проведения теоретических исследований включает пять стадий.

1. *Оперативная*, которая содержит:

- проверку возможности устранения технического противоречия;
- оценку возможных изменений в объект исследования и окружающей среде;
- анализ возможности переноса решения задачи из других отраслей знания или использования «прообразов» природы.

2. *Синтетическая*, где определяются:

- влияние изменения одной части объекта на построение других его частей;
- необходимые изменения других объектов, работающих совместно с исследуемым;
- оценка возможности применения найденной технической идеи при решении других задач.

3. *Постановки задачи*. Эта стадия является наиболее важной, т. к. представление задачи в четкой и определенной форме намного облегчает её решение. На данной стадии:

- определяется конечная цель решения задачи;
- выбирается наиболее эффективный путь ее решения;
- определяются требуемые количественные показатели.

4. *Аналитическая*, которая включает:

- определение идеального конечного результата;
- выявляются помехи, мешающие получению идеального результата, и их причины;
- определяются условия, обеспечивающие получение идеального результата с целью найти, при каких условиях исчезнет «помеха».

5. *Формирование теории*, которая может быть формализована (представлена) в виде:

- качественных правил в вербальной (словесной) форме;
- математических моделей (уравнений, соотношений, и т. д.);
- комбинации правила и математических моделей.

Процесс проведения теоретических исследований во всех науках в основном включает рассмотренные стадии.

3.2 Математические методы в теоретических исследованиях

При проведении теоретических исследований, применяются все рассмотренные ранее методы теоретического уровня (см. подраздел 1.3). Наибольшее применение находят математические методы формализации. Решение научно-исследовательских задач помощью математических методов позволяет формировать *теория* объекта исследования, который является конечным результатом теоретических исследований.

Разработанная теория в целом или её отдельные части обязательно должны подтверждаться экспериментальными данными. Подтверждение теории оценивается сходимостью численных значений искомого (выходного) параметра, рассчитанных разработанной теорией и полученных опытным путем. Чем больше сходимость теоретических и экспериментальных данных, тем достовернее конечный результат исследований. Данные теории и эксперимента могут представляться в разных формах. Наиболее наглядной формой оценки сходимости теоретических и экспериментальных данных является представление их в графической форме.

Решение научно-исследовательских задач математическими методами осуществляется в следующей последовательности:

1. Математическая формулировка задачи (разработка математической модели).
2. Выбор метода проведения исследования полученной математической модели.
3. Анализ полученных результатов.

Наиболее сложным этапом является разработка математической модели.

Поэтому рассмотрим данный этап подробнее.

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

Если заранее известен характер изменения исследуемого показателя, то

разработка математической модели облегчается. В этом случае модели строятся на основе известных моделей, отдавая предпочтение формулам, функциям, уравнениям, системам уравнений, которые выражают наиболее общую (похожую) закономерность или общеизвестный закон.

Если характер изменения исследуемого показателя заранее неизвестен, то ставится поисковый эксперимент. В этом случае предпочтение отдается той математической зависимости, которая дает наилучшее совпадение с данными поискового эксперимента.

На этапе выбора типа математической модели при помощи анализа данных поискового эксперимента устанавливаются общие характеристики объекта (процесса) исследования:

- линейность или нелинейность;
- динамичность или статичность;
- стационарность или нестационарность;
- степень детерминированности (определенности), т.е. не вероятности исследуемого объекта или процесса.

Установление общих характеристик позволяет выбрать математический аппарат, на базе которого строится математическая модель. Выбор математического аппарата может быть осуществлен в зависимости от детерминированности или вероятности.

Рассмотрим алгоритмы выбора математического аппарата для детерминированных и вероятностных объектов (процессов) исследования.

1. Детерминированные объекты исследования. Они бывают *динамическими* (изменяющиеся во времени) и *статическими* (не изменяющиеся во времени).

Для разработки теории динамических объектов (процессов) исследования в основном используются:

- алгебраические уравнения;
- дифференциальные уравнения;

- интегральные уравнения;
- дифференциальные уравнения в частных производных.

Для разработки теории статических объектов (процессов) исследования в основном используются:

- алгебраические уравнения;
- дифференциальные уравнения.

2. Вероятностные объекты исследования. Они бывают *нестационарные* (вероятностные характеристики меняются с течением времени) и *стационарный* (вероятностные характеристики не меняются с течением времени).

Для разработки теории нестационарных объектов (процессов) исследования в основном используются:

- дифференциальные уравнения;
- теория вероятностей.

Для разработки теории стационарных объектов (процессов) исследования в основном используются:

- алгебраические уравнения;
- теория вероятностей.

Рассмотренные алгоритмы выбора математического аппарата не являются однозначным и жестким.

При исследовании сложных объектов с большим количеством параметров для составления математической модели возможно разбиение объекта на элементы (подсистемы), установление иерархии элементов и описание связей между ними на различных уровнях иерархии.

Особое место на этапе выбора вида математической модели занимает описание преобразования входных сигналов в выходные характеристики объекта.

Результаты поискового эксперимента и априорный информационный массив позволяют установить схему взаимодействия объекта с внешней средой по соотношению входных и выходных величин.

Возможно установление следующих схем взаимодействия (рисунок 3.1):

а) одномерно-одномерная – на объект исследования воздействует только один фактор (входной параметр), и его поведение также рассматривается по одному (выходной параметр) показателю;

б) одномерно-многомерная – на объект исследования воздействует один фактор, а его поведение оценивается по нескольким показателям;

в) многомерно-одномерная – на объект (процесс) исследования воздействует несколько факторов, а его поведение оценивается по одному показателю;

г) многомерно-многомерная – на объект (процесс) исследования воздействует множество факторов и его поведение оценивается по множеству показателей.

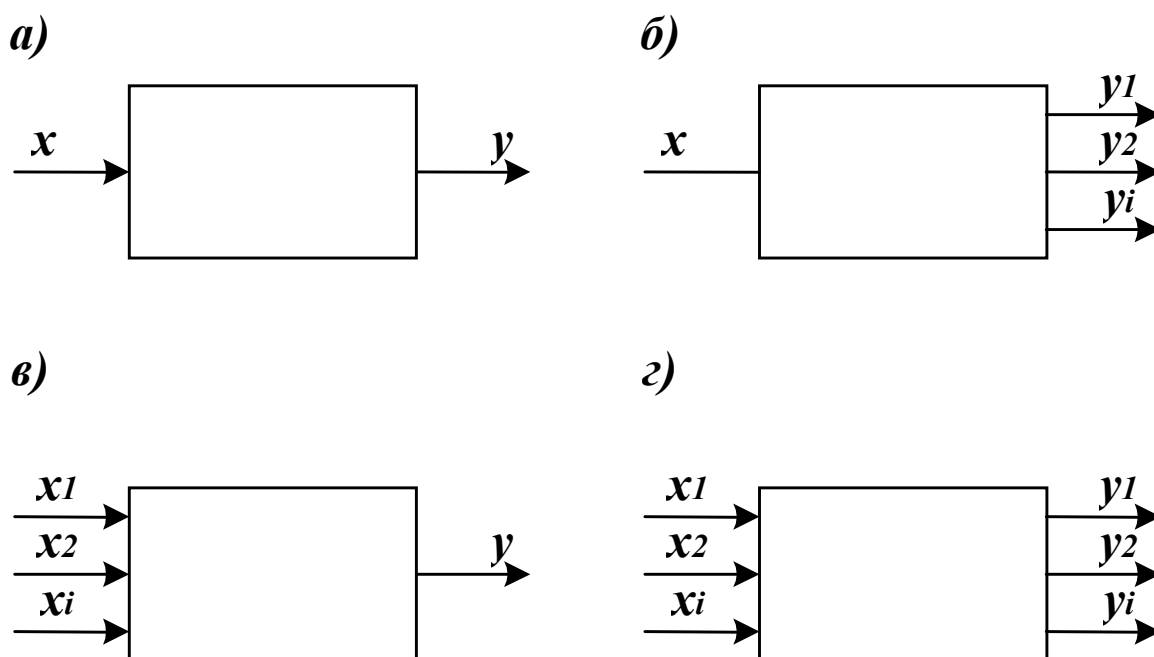


Рисунок 3.1 – Возможные схемы взаимодействия объекта исследования с внешней средой.

После разработки математической модели объекта исследования заканчивается ее контролем.

Рассмотрим следующие основные виды контроля:

1. *Контроль размерностей* – проверка правила, согласно которому приравняться и складываться могут только величины одинаковой размерности. В конечных математических зависимостях правые и левые части должны иметь одинаковые размерности.

2. *Контроль порядков* – определение порядков (величин) складываемых величин и отбрасывание явно малозначительных слагаемых. Данный вид контроля направлен на упрощение модели.

3. *Контроль характера зависимостей* – проверка направления и скорости изменения одних величин при изменении других. Направления и скорость, вытекающие из математической модели, должны соответствовать физическому смыслу задачи.

4. *Контроль экстремальных ситуаций* – проверка наглядного смысла решения при приближении параметров модели к нулю или бесконечности.

5. *Контроль граничных условий* – проверка соответствия математической модели граничным условиям, вытекающим из смысла задачи. При этом проверяется, действительно ли граничные условия поставлены и учтены при построении искомой функции и что эта функция на самом деле удовлетворяет таким условиям.

6. *Контроль математической замкнутости* сводится к проверке того, что математическая модель дает однозначное решение.

7. *Контроль физического смысла* – проверка физического содержания промежуточных соотношений, используемых при построении математической модели.

8. *Контроль устойчивости* модели состоит в проверке того, что варьирование исходных данных в рамках имеющихся данных о реальном объекте не приведет к существенному изменению решения.

После проведения контроля разработанной математической модели выбирают метод проведения исследования полученной математической модели. Выбор метода зависит от цели, задач исследований и других конкретных требований. Затем проводится анализ полученных результатов, делаются выводы и даются практические рекомендации.

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1 Цель, типы экспериментальных исследований и их задачи

Важнейшей составной частью научных исследований является *эксперимент* (лат. *experimentum* – проба, опыт), основой которого является научно поставленный опыт с точно учитываемыми и управляемыми условиями.

В научном языке и исследовательской работе термин «эксперимент» обычно используется в значении, общем для целого ряда сопряженных понятий: опыт, целенаправленное наблюдение, воспроизведение объекта познания, организация особых условий его существования, проверка предсказания. В это понятие вкладывается научная постановка опытов и наблюдение исследуемого явления в точно учитываемых условиях, позволяющих следить за ходом явлений и воссоздавать его каждый раз при повторении этих условий. Само по себе понятие «эксперимент» означает действие, направленное на создание условий в целях осуществления того или иного явления и по возможности наиболее частого, т.е. не осложняемого другими явлениями.

Основной целью эксперимента являются выявление свойств исследуемых объектов, проверка справедливости гипотез и на этой основе широкое и глубокое изучение темы научного исследования. Постановка и организация эксперимента определяются его назначением.

Классификация экспериментальных исследований.

1. По способу формирования условий.

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

Б). *Искусственный эксперимент* – формирование искусственных условий (широко применяется в естественных и технических науках).

2. По целям исследования.

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

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

В). *Контролирующий эксперимент* – проводится для контроля над результатами внешних воздействий на объект исследования с учетом его состояния, характера воздействия и ожидаемого эффекта.

Г). *Поисковый эксперимент* – проводится, когда затруднена классификация факторов, влияющих на изучаемое явление вследствие отсутствия достаточных предварительных (априорных) данных. По результатам поискового эксперимента устанавливается значимость факторов, осуществляется отсеивание незначимых.

Д). *Решающий эксперимент* – ставится для проверки справедливости основных положений фундаментальных теорий в том случае, когда две или несколько гипотез одинаково согласуются со многими явлениями. Это согласие приводит к затруднению, какую именно из гипотез считать правильной. Решающий эксперимент дает такие факты, которые согласуются с одной из гипотез и противоречат другой.

Примером решающего эксперимента служат опыты по проверке справедливости ньютоновской теории истечения света и волнообразной теории Гюйгенса. Эти опыты были поставлены французским ученым Фуко (1819-1868). Они касались вопроса о скорости распространения света внутри

прозрачных тел. Согласно гипотезе истечения, скорость света внутри таких тел должна быть больше, чем в пустоте. Но Фуко своими опытами доказал обратное, т.е. что в менее плотной среде скорость света большая. Этот опыт Фуко и был тем решающим опытом, который решил спор между двумя гипотезами (в настоящее время гипотеза Гюйгенса заменена электромагнитной гипотезой Максвелла).

Другим примером решающего эксперимента может служить спор между Птолемеем и Коперником о движении Земли. Решающий опыт Фуко с маятником окончательно решил спор в пользу теории Коперника.

3. По организации проведения.

А). *Лабораторный эксперимент* – проводится в лабораторных условиях с применением типовых приборов, специальных моделирующих установок, стендов, оборудования и т.д. Чаще всего в лабораторном эксперименте изучается не сам объект, а его образец. Этот эксперимент позволяет доброкачественно, с требуемой повторностью изучить влияние одних характеристик при варьировании других, получить хорошую научную информацию с минимальными затратами времени и ресурсов. Однако такой эксперимент не всегда полностью моделирует реальный ход изучаемого процесса, поэтому возникает потребность в проведении натурального эксперимента.

Б). *Натурный эксперимент* проводится в естественных условиях и на реальных объектах. Этот вид эксперимента часто используется в процессе натуральных испытаний изготовленных систем.

Основные задачи натурального эксперимента:

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

В зависимости от места проведения испытаний натурные эксперименты

подразделяются на: *производственные, полевые, полигонные, полунатурные и т.п.*

Практически во всех случаях основная научная проблема натурального эксперимента – обеспечение достаточного соответствия (адекватность) условий эксперимента реальной ситуации, в которой будет работать впоследствии создаваемый объект.

4. По структуре изучаемых объектов и явлений.

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

Б). *Сложный эксперимент* применяется для изучения явления или объектов с разветвленной структурой (можно выделить иерархические уровни) и большим количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, выполняющих сложные функции. Высокая степень связности элементов приводит к тому, что изменение состояния какого-либо элемента или связи влечет за собой изменение состояния многих других элементов системы. В сложных объектах исследования возможно наличие нескольких разных структур, нескольких разных целей.

5. По характеру внешних воздействий на объект исследования.

А). *Вещественный эксперимент* предполагает изучение влияния различных вещественных факторов на состояние объекта исследования. Например, влияние различных добавок на качество стали и т.п.

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

В). *Информационный эксперимент* используется для изучения воздействия определенной (различной по форме и содержанию) информации на

объект исследования (чаще всего информационный эксперимент используется в биологии, психологии, социологии, кибернетике и т.п.). С помощью этого эксперимента изучается изменение состояния объекта исследования под влиянием сообщаемой ему информации.

6. По характеру взаимодействия средства экспериментального исследования с объектом исследования.

А). *Обычный (классический) эксперимент* включает экспериментатора как познающего субъекта, объект исследования и экспериментальные средства (инструменты, приборы, экспериментальные установки), при помощи которых осуществляется эксперимент. С объектом исследования непосредственно взаимодействуют экспериментальные средства, являясь посредниками между экспериментатором и объектом исследования.

Б). *Модельный эксперимент* в отличие от обычного имеет дело с моделью исследуемого объекта. Модель входит в состав экспериментальной установки, замещая не только объект исследования, но и условия, в которых он изучается.

Модельный эксперимент расширяет возможности экспериментального исследования. Однако различие между моделью и реальным объектом может стать источником ошибок. Кроме того, экстраполяция (приближение, перенос) результатов изучения поведения модели на моделируемый объект требует дополнительных затрат времени и теоретического обоснования правомочности такой экстраполяции.

7. По типу моделей, исследуемых в эксперименте.

А). *Мысленный (умственный) эксперимент* – одна из форм умственной (теоретической) деятельности познающего субъекта, в процессе которой воспроизводится в воображении структура реального эксперимента. При этом инструментами являются мысленные модели исследуемых объектов: чувственные образы, образно-знаковые модели, знаковые модели.

Структура мысленного эксперимента включает:

- построение мысленной модели объекта исследования, идеализированных условий эксперимента и воздействий на объект;
- сознательное и планомерное изменение, комбинирование условий эксперимента и воздействий на объект;
- сознательное и точное применение на всех стадиях эксперимента объективных законов науки, благодаря чему исключается абсолютный произвол.

В результате такого эксперимента могут формироваться конкретные выводы.

Б) *Материальный эксперимент* – это реальный эксперимент представляющий собой форму объективной материальной связи сознания с внешним миром, в которой используются материальные, а не идеальные объекты исследования. Материальный эксперимент имеет аналогичную структуру.

8. По контролируемым величинам.

А). *Пассивный эксперимент* – предусматривает измерение только выбранных показателей (параметров, переменных) в результате наблюдения за объектом без искусственного вмешательства в его функционирование.

Например, наблюдение за интенсивностью, составом, скоростями движения транспортных потоков.

Б). *Активный эксперимент* связан с выбором специальных входных сигналов (факторов). При этом экспериментатор управляет входом и выходом исследуемой системы и контролирует входные и выходные параметры.

9. По числу варьируемых (изменяемых) факторов.

А). *Однофакторный эксперимент* предполагает:

- выделение нужных факторов;
- устранение или стабилизацию мешающих факторов;
- поочередное варьирование интересующих факторов.

Б). *Многофакторный эксперимент* предполагает варьирование всех переменных сразу в серии экспериментов. Интересующий показатель оценивается по результатам всех опытов, проведенных в данной серии экспериментов.

10. По характеру изучаемых объектов или явлений.

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

Б). *Социометрический эксперимент* используется для измерения существующих межличностных, социально-психологических отношений в малых группах с целью их последующего изменения.

11. По степени открытости и закрытости (широко распространены в психологии, социологии, педагогике).

А). *Открытый эксперимент* – задачи исследования открыто объясняются испытуемым (человеку).

Б). *Закрытый эксперимент* – в целях получения объективных данных задачи исследования скрываются от испытуемого.

Для классификации, кроме рассмотренных признаков, могут быть использованы и другие признаки.

4.2 Программа и методика экспериментальных исследований.

Для проведения экспериментальных исследований любого типа необходимо:

- разработать гипотезу, подлежащую проверке;
- создать программу экспериментальных исследований;
- определить способы и приемы вмешательства в объект исследования;
- обеспечить условия для осуществления процедуры экспериментальных работ;

- разработать пути и приемы фиксирования хода и результатов эксперимента;

- подготовить экспериментальное оборудование (приборы, установки, стенды, модели, экспериментальные образцы и т.п.);

- обеспечить эксперимент необходимым обслуживающим персоналом.

Перед каждым экспериментальным исследованием составляется его план (программа).

Программа экспериментальных исследований включает:

- цель и задачи эксперимента;

- выбор варьирующих факторов;

- обоснование объема эксперимента, числа опытов;

- порядок реализации опытов, определение последовательности изменения факторов;

- выбор шага изменения факторов, задание интервалов между будущими экспериментальными точками;

- обоснование средств измерений;

- описание проведения эксперимента;

- обоснование способов обработки и анализа результатов эксперимента.

Программу экспериментальных исследований рассматривает научный руководитель, затем она обсуждается в научном коллективе и утверждается в установленном порядке.

При разработке программы экспериментальных исследований всегда необходимо стремиться к его упрощению, наглядности без потери точности и достоверности (доказательности). Это достигается путем предварительного анализа и сопоставления результатов измерений одного и того же параметра различными техническими средствами, а также применением различных методов обработки полученных результатов.

Для интенсификации проведения научных исследований важнейшее место в процессе подготовки эксперимента используется методы информационных технологий (ИТ-технологии) и автоматизации. При этом

методе экспериментальные данные вводятся в компьютер с необходимым программным обеспечением для расчета результирующих показателей или определения повторности эксперимента и т.д.. При этом автоматически управляется ход проведения эксперимента (последовательность, повторность замеров, определение средних значений, построение графиков и т.д.).

Особое значение имеет правильная разработка методики проведения экспериментального исследования.

Методика проведения экспериментального исследования – это алгоритм, совокупность действий в определенной последовательности, способов, приемов исследования с помощью, которых достигается цель исследования.

При разработке методик проведения эксперимента необходимо предусматривать:

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

Результаты экспериментов должны отвечать трем статистическим требованиям:

1. Эффективность оценок, т.е. минимальность дисперсии (рассеивания) отклонения относительно неизвестного параметра.

2. Состоятельность оценок, т.е. при увеличении числа наблюдений оценка параметра должна стремиться к его истинному значению.

3. Несмещенность оценок – отсутствие систематических ошибок в процессе вычисления параметров.

Важнейшей проблемой при проведении и обработке эксперимента является совместимость этих трех требований. Одним из основных условий выполнения и совместимости указанных требований выступает качественное метрологическое обеспечение экспериментальных исследований.

4.3 Метрологическое обеспечение экспериментальных исследований

В основе любого эксперимента лежит *измерение* – нахождение физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств и сравнение измеряемой величины с известной величиной, принятой за единицу (эталон).

Теорией и практикой измерения занимается *метрология* – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Метрология охватывает следующие основным направления:

– общая теория измерений;

– единицы физических величин (величины, которым по определению присвоено числовое значение, равное единице) и их системы (совокупность основных и производных единиц, образованная в соответствии с некоторыми принципами, например, Международная система единиц - СИ);

– методы и средства измерений (к методам относят совокупность приемов использования принципов и технических средств, применяемых при

измерениях и имеющих нормирование метрологических свойств);

– методы определения точности измерений;

– основы обеспечения единства измерений, при которых результаты измерения выражены в узаконенных единицах, а погрешности измерений известны с заданной вероятностью, что возможно при единообразии средств измерения (средства измерения должны быть проградуированы в узаконенных единицах и их метрологические свойства соответствуют нормам).

Важнейшие значения в метрологии имеют *эталон*ы и *образцовые средства измерений*.

*Эталон*ы – средства измерений или комплекс средств измерений, обеспечивающих воспроизведение и хранение единицы с целью передачи ее размера нижестоящим средствам измерения.

Виды эталонов.

1. Первичный эталон – воспроизводит единицу физической величины с наивысшей точностью, возможной в данной области измерений на современном уровне научно-технического развития.

А) Национальный (государственный) первичный эталон – это эталон признанный в качестве исходного на территории данного государства.

Б) Международный первичный эталон – это эталон, принятый по международному соглашению в качестве международной основы для согласования с ним размеров единиц, воспроизводимых и хранимых национальными (государственными) эталонами.

2. Вторичный эталон – эталон, получающий размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы.

3. Эталон сравнения – эталон, применяемый для сличения (сопоставления) эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом.

4. Исходный эталон – эталон, обладающий наивысшими метрологическими свойствами (в данной лаборатории, организации, на

предприятию), от которого передают размер единицы подчиненным эталонам и имеющимся средствам измерений.

5. Рабочий эталон – эталон, предназначенный для передачи размера единицы рабочим средствам измерений.

Эталоны выполнены по особой спецификации. Эталонная база содержит более 120 государственных эталонов. Например, единица длины, единица массы и др.

Образцовые средства измерений служат для проверки по ним рабочих (технических) средств измерения, постоянно используемых непосредственно в исследованиях.

Доведение размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений до рабочих средств осуществляется государственными и ведомственными *метрологическими органами*, которые в совокупности составляют *метрологическую службу*. Их деятельность обеспечивает единство измерений и единообразие средств измерений в мире и отдельной стране.

Метрологическая служба связана со всей системой стандартизации в стране, поскольку метрология сама является по существу стандартизацией измерений и одной из основ стандартизации, так как обеспечивает достоверность, сопоставимость показателей качества, закладываемых в стандарты, дает методы определения и контроля таких показателей.

Основоположником метрологии как науки в нашей стране был великий русский ученый Д. И. Менделеев, создавший в 1893 г. Главную Палату мер и весов.

Классификация методов измерений.

1. *Прямые измерения* – искомую величину устанавливают непосредственно из опыта.

2. *Косвенные измерения* – искомую величину определяют функционально от других величин, определенных прямыми измерениями, например $A = F(B)$, где A – величина, найденная с помощью косвенных измерений; B – величина, найденная с помощью прямых измерений.

3. *Абсолютные измерения* – это прямые измерения в единицах измеряемой величины.

4. *Относительные измерения* – отношение прямой измеряемой величины к одноименной величине, принимаемой за исходную. Например, влажность воздуха принимается в относительных единицах (процентах) по отношению к полному его водонасыщению.

5. *Совокупные измерения* – это когда одновременно измеряются несколько одноименных величин, а искомую величину при этом находят путем решения системы уравнений.

6. *Совместные измерения* – одновременно проводят измерения неоднородных величин для нахождения зависимости между ними.

7. *Метод непосредственной оценки* – определение значения величины непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия (например, измерение массы на циферблатных весах).

8. *Метод сравнения с мерой* – измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой (например, измерение массы на рычажных весах с уравновешиванием гирями).

9. *Метод противопоставления* – сравнение с мерой (измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно *воздействуют на прибор*, с помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами. Например, при измерении массы на равноплечных весах с помещением измеряемой массы и гирь на двух противоположных чашках весов).

9. *Дифференциальный метод* – когда на измерительный прибор воздействует разность измеряемой и известной величины, воспроизводимой мерой. Например, измерения, выполняемые при проверке мер длины сравнением с образцовой мерой на компараторе.

10. *Нулевой метод* – результирующий эффект воздействия величины на прибор доводят до нуля. Например, измерение электрического сопротивления мостом с полным его уравновешиванием.

11. *Метод замещения* – измеренную величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой. Например, взвешивание с поочередным помещением измеряемой массы и гири на одну и ту же чашку весов.

12. *Метод совпадений* – разность между измеряемой величиной и величиной воспроизводимой мерой измеряется с использованием совпадения отметок шкал или периодических сигналов.

Экспериментальные исследования невозможно проводить без *средств измерений*.

Средства измерений – совокупность технических средств, имеющих нормированные погрешности, которые дают необходимую информацию для экспериментатора.

Классификация средств измерений.

1. *Мера* – простейшее средство измерения, предназначенная для воспроизведения физической величины заданного размера. Например, гиря – мера массы, линейка – мера размера.

2. *Измерительный прибор (отсчетное устройство)* – средство измерения, предназначенное для получения определенной информации об изучаемой величине в удобной для экспериментатора форме. В этих приборах измеряемая величина преобразуется в показание или сигнал. Они состоят из двух основных узлов: *воспринимающего* сигнал и *преобразующего* в показание.

А) по способу отсчета значения измеряемой величины:

– показывающие, дают возможность только отсчитывать показания измеряемой величины;

– регистрирующие, в которых предусмотрена регистрация показаний в аналоговом, цифровом, самопишущем, печатающем виде;

Б) по точности измерения (классам точности);

В) стабильности показаний;

- Г) чувствительности;
- Д) пределам измерения;
- Е) и др.

3. *Измерительная установка (стенд)* – система, состоящая из основных и вспомогательных средств измерений (мер и приборов), предназначенных для измерения одной или нескольких величин. Установки включают в себя различные средства измерений и преобразователи, предназначенные для выработки и преобразования сигналов до такого уровня, чтобы можно было его зафиксировать и провести автоматическую обработку результатов измерений.

Основные параметры средств измерения.

1. *Диапазон измерений* – область значений измеряемой величины, на который рассчитано средство измерения при его нормальном функционировании с заданной точностью.

2. *Точность (допустимая нормированная погрешность)* – способность прибора указывать истинное значение измеряемого параметра. Общие положения по точности для средств измерений нормируются по ГОСТ 8. 401 – 80 «Классы точности средств измерений. Общие требования». Для каждого средства измерения устанавливается класс точности в виде чисел, который приводится в технических характеристиках и наносится на шкалу измерения: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5 и т. д.

3. *Размах* – разность между максимальным и минимальным показаниями средства измерения. Если эта величина непостоянная, т.е. если при обратном ходе имеется увеличение или уменьшение хода, то эту разность называют *вариацией показаний*, величина которой будет составлять общей погрешности средства измерения.

4. *Чувствительность* – связывает значение измеряемого параметра с соответствующим ему изменением показаний прибора, т. е. способность средства измерения реагировать на изменения измеряемой величины.

5. *Порог чувствительности* – некоторое минимальное или пороговое значение измеряемой величины, которое средство измерения может различать, которое можно зафиксировать.

6. *Стабильность (воспроизводимость)* – способность средства измерения поддерживать заданную точность измерения в течении определенного времени после калибровки.

Одной из важнейших характеристик средств измерения при проведении экспериментальных исследований является *суммарная погрешность*, которая определяется как сумма допустимой нормированной погрешности средства измерения и погрешности, которая возникает в результате изменения *основных параметров средств измерения* (рассмотрены выше) из-за недоброкачественных материалов, комплектующих изделий, применяемых для приготовления приборов; плохого качества изготовления приборов; неудовлетворительной эксплуатации, не точной градуировки шкалы, не своевременного или некачественного прохождения периодической поверки и т. д..

Таким образом, всегда необходимо рассматривать не какие-либо отдельные, а суммарные погрешности средств измерения.

При проведении экспериментов (измерении) суммарная погрешность средства измерения вызывает *систематическую погрешность* эксперимента, которая в сумме со *случайными погрешностями*, обусловленными случайными факторами (ошибка отсчета, отклонение, вариация и т.д., связанные в основном с человеческим фактором) приводит к *общей погрешности* эксперимента (измерения).

Все средства измерения проходят *периодическую поверку на точность*. Такая поверка предусматривает определение и по возможности уменьшение погрешностей приборов.

Поверка позволяет установить соответствие данного прибора регламентированной степени точности и определяет возможность его применения для данных измерений, т.е. определяются погрешности и устанавливается, не выходят ли они за пределы допускаемых значений.

Поверку средств измерений производят на различных уровнях – от специальных государственных организаций до низовых звеньев. Государственные метрологические учреждения и организации по надзору за стандартами и измерительной техникой производят государственный контроль за обеспечением в стране единства мер.

На высокоточные измерительные средства государственные метрологические организации выдают *специальное свидетельство*, в котором после поверки указывают номинальные значения измеряемой величины, класс точности, предельную допускаемую погрешность, результаты поверки погрешности прибора в виде таблиц, вариации измерений.

Для приборов меньшей ответственности свидетельство может не выдаваться и заменяться лишь указанием о том, что прибор удовлетворяет требованиям стандарта или инструкции. Вместо инструкции прибор (или футляр) снабжают клеймом поверки.

Таким образом, метрологическое обеспечение научных исследований и особенно обеспечение единства измерений и однообразия средств измерения является важнейшим фактором успешного проведения научных исследований. Без успешного развития метрологии невозможен прогресс в развитии науки и, наоборот, без успешного развития науки невозможен прогресс в метрологии.

5 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1 Задачи и методы обработки результатов экспериментальных исследований

Основными задачами обработки результатов экспериментальных исследований являются:

- анализ погрешности эксперимента;
- обобщение данных опытов;
- нахождение функциональных связей;
- анализ опытных данных;
- установление степени взаимной связи между явлениями;
- сопоставление и оценка сходимости результатов опытных данных с теоретическими решениями.

При решении вышеперечисленных задач применяются различные методы, каждый из которых при надлежащем применении, может способствовать раскрытию новых закономерностей.

Нет необходимости в этом учебном пособии полностью перечислять эти методы и давать их характеристики, поэтому ограничимся кратким перечнем сравнительно часто применяемых методов с указанием общих сведений о них.

Методы оценки случайных погрешностей опытов – основываются на теории случайных ошибок и позволяют с определенной гарантией вычислить действительное значение измеренной величины и определить возможные ошибки.

Методы математической статистики – позволяет выявить ошибки эксперимента и анализировать основные тенденции изучаемых процессов, определить погрешности опытов.

Метод представления данных опытов в табличной форме – позволяет систематизировать опытные данные и облегчает их обработку другими

методами. Однако не всегда позволяет достаточно наглядно характеризовать закономерности изучаемых процессов. Поэтому часто дополняется графиками.

Методы графической обработки результатов опытов – дает наиболее наглядное представление о результатах эксперимента. Позволяет лучше понять физическую сущность исследуемого процесса, выявить общий характер функциональной зависимости изучаемых переменных величин, установить наличие максимума или минимума функции.

Дисперсионный анализ – сравнение дисперсий (рассеивания) отдельных измерений от среднего по факторам, позволяет сделать заключение о надежности выводов по доверительным границам.

Оптимизация – нахождение оптимумов (экстремалей) при помощи приемов математики (дифференцирование уравнений), построения двумерных (на плоскости) и трехмерных (пространственных) графиков, статистическими расчетами, компьютерного программирования и др..

Корреляционный анализ – позволяет дать числовую оценку степени взаимной связи исследуемых параметров, в случаях, когда явной функциональной связи между ними установить не удастся.

Регрессионный анализ – позволяет исследовать закономерные связи между процессами, которые зависят от многих, иногда неизвестных факторов.

Численное дифференцирование опытных функций – применяется при опытных данных с постоянным шагом и хорошо сглаженных графиках.

Интегрирование опытных функций – используются различные приемы определения площадей.

Сравнение изменчивости опытных функций – при однородных измерениях сравнивают стандарты (среднее квадратическое отклонение) - σ , при неоднородных

Теория случайных функций – позволяет исследовать случайные величины в их динамике.

Теория массового обслуживания – дает возможность обобщать опытные данные и проводить соответствующий анализ по обслуживанию (выполнению требований, распределенных случайно во времени и в пути).

Выражение опытных закономерностей рациональными формулами – использование формул, в которых все основные члены имеют размерность и строго логично вытекают из фундаментальных законов.

Выражение опытных закономерностей эмпирическими формулами – подбор типа формулы и нахождение коэффициентов к ней. Обычно формулы подбирается по типовым кривым, для которых даны соответствующие уравнения.

Кроме перечисленных существует множество методов обработки экспериментальных данных.

В связи с интенсивным развитием информационных технологий, компьютерной техники, компьютерного программирования в настоящее время очень широко применяются методы компьютерной обработки экспериментальных данных, основанные на классических методах.

5.2 Анализ погрешностей (ошибки) эксперимента

Измерения в любых опытах, как правило, содержат погрешности (ошибки) и при планировании эксперимента этот факт необходимо обязательно учитывать, в виде выполнения этапа – анализа погрешностей эксперимента.

Численно погрешность эксперимента представляется *абсолютной* и *относительной погрешностью* (предельной ошибкой).

Абсолютная погрешность (ε) – это алгебраическая разность между действительным значением измеряемой величины X_0 и полученным при измерении X_i .

$$\varepsilon = X_0 - X_i. \quad (5.1)$$

Относительная погрешность (предельная ошибка) (δ) – это отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины .

$$\delta = \varepsilon / x_{\partial}. \quad (5.2)$$

Общую погрешность эксперимента составляют систематическая погрешность и случайная погрешность.

Систематическая погрешность – составляющая общей погрешности, остающаяся постоянной или закономерно изменяющейся при повторных измерениях. Такие погрешности порождаются причинами, действующими регулярно (систематически), например, сбитая шкала прибора, постоянно растущая температура окружающей среды и т.д. Такие ошибки не трудно выявить, определить количественно, ликвидировать или учесть при обработке результатов эксперимента.

Случайные погрешности (ошибки) – порождаются большим количеством нерегулярно проявляющих себя причин. К таким причинам могут быть отнесены:

- несовершенство объекта исследования;
- несовершенство измерительных приборов (инструментальные ошибки);
- неточность считывания результата со шкалы приборов;
- неопытность исследователя (субъективные ошибки);
- изменение внешних условий в процессе проведения эксперимента, например, барометрического давления (внешние ошибки) и так далее.

Случайные погрешности (ошибки) можно выразить несколькими понятиями.

Чаще применяют понятие *предельной ошибки*, под которой подразумевают наибольшую случайную ошибку при правильном пользовании исправным прибором и устранении систематических ошибок путем внесения соответствующих поправок в результаты измерения.

Анализ случайных погрешностей по этим данным базируется на методах *теории случайной ошибки*, дающей возможность с определенной гарантией вычислить действительное значение измеренной величины и определить возможные ошибки.

Основу теории случайных ошибок составляют следующие предположения:

- при большом числе измерений случайные погрешности одинаковой величины с разными знаками встречаются одинаково часто;
- большие погрешности встречаются реже, чем малые, т. е. вероятность появления погрешности, уменьшается с ростом ее величины;
- при бесконечно большом числе измерений истинное значение измеряемой величины равно среднеарифметическому значению всех результатов измерений;
- появление любого случайного результата измерения описывается *нормальным законом распределения*.

Полученные в процессе эксперимента данные представляет совокупность прямых измерений непосредственно прибором, и косвенных измерений, которые определяется на основании функциональных зависимостей между этой величиной и другими измеряемыми величинами (*см. подраздел 4.3*).

При анализе погрешностей пользуются *генеральной* или *выборочной* совокупностью.

Генеральная совокупность – подразумевает все множество возможных значений измерений X_i или возможных значений погрешностей.

Выборочная совокупность – подразумевает ограничение числа измерений, которая строго определяется конкретно для каждого случая. Считается, что если количество измерений больше 30 ($n > 30$), то среднее значение данной совокупности измерений достаточно приближается к его истинному значению.

Рассмотрим анализ погрешности измерений для эксперимента, выполненного прямыми измерениями с многократными наблюдениями. Для выявления случайной ошибок такого рода экспериментов замеры дублируются несколькими измерительными приборами с сохранением всех условий проведения эксперимента. Это позволяет выполнить статистический анализ результатов характерный для прямых измерений с многократными наблюдениями.

Выполнение повторных замеров, как правило, не дает полностью совпадающих результатов. Поэтому следует определять среднеарифметическую величину \bar{x} всех результатов измерений:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i, \quad (5.3)$$

где n – число измерений;

x_i – результат текущего измерения.

Если число измерений велико ($n \rightarrow \infty$), среднеарифметическое принимает новый смысл и называется математическим ожиданием – $m(x)$.

$$m(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} x_i = \sum_{i=1}^n P_i \cdot x_i, \quad (5.4)$$

где P_i – вероятность появления i – го результата.

Таким образом, математическое ожидание является теоретической величиной, к которой стремится среднее значение измеряемой величины по мере увеличения количества измерений.

Мерой рассеивания отдельных измерений от среднего служит дисперсия (D). Чем она больше, тем больше разброс измерений. Определяется по формуле:

$$D = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (5.5)$$

Корень квадратный от величины дисперсии называется средним квадратичным отклонением (стандартом, квадратичной ошибкой) – σ , которая рассчитывается по формуле:

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (5.6)$$

Среднее квадратичное отклонение (стандарт, квадратичная ошибка) является мерой точности среднего арифметического значения неоднократно измеренной величины.

Для оценки рассеивания, наряду с дисперсией применяется так же относительная величина, называемая коэффициентом вариации $k_{\hat{a}}$. Чем выше $k_{\hat{a}}$, тем больше изменчивость измерений относительно средних значений. Данный коэффициент оценивает также разброс при оценке нескольких выборок.

$$k_{\hat{a}} = \sigma / \bar{x}. \quad (5.7)$$

Распределение измеряемых величин по вероятностям получения такой величины (рисунок 5.1) называется законом распределения.

Величина абсциссы, соответствующая математическому ожиданию $m(x)$, называется центром распределения. Площадь под такой кривой равна 1 или 100 %, и позволяет охватить все результаты измерений.

В большинстве случаев кривая распределения соответствует нормальному закону распределения (закону распределения Гаусса), которая описывается следующей функцией:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(x - m(x))^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (5.8)$$

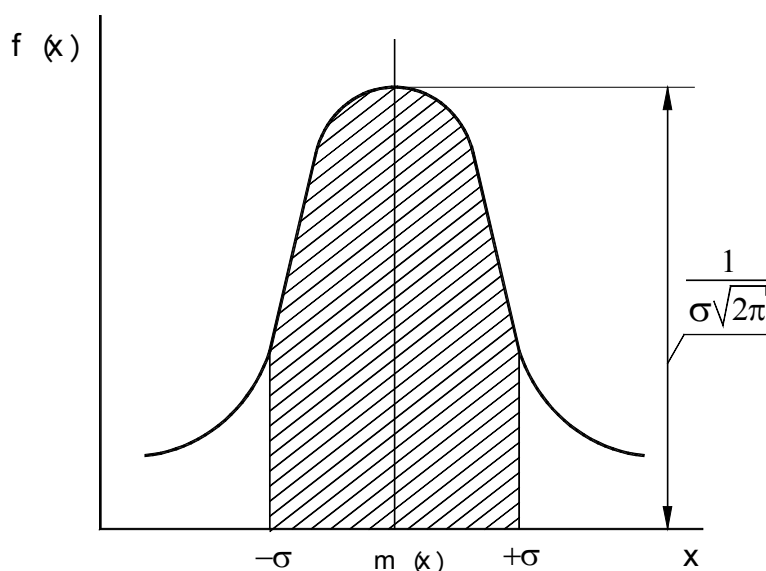


Рисунок 5.1 – Кривая распределения вероятностей по закону Гаусса

В упрощенной форме функция (5.8) запишется в следующем виде:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2}}. \quad (5.9)$$

При нормальном законе распределения экспериментальных данных численными показателями достоверности исследований являются *доверительный интервал* и *доверительная вероятность* (*достоверность, надежность*).

Доверительным интервалом ошибки измерений (2μ) называется интервал значений X_i , в который попадает истинное значение измеряемой величины с заданной вероятностью, т. е. он характеризует *точность измерения*.

Величина μ , составляющая *половину доверительного интервала*, и гарантийный коэффициент t взаимосвязаны с формулой:

$$\mu = \pm t \cdot \sigma, \quad (5.10)$$

где t – коэффициент нормированной ошибки (гарантийный коэффициент), значение которого обычно задается.

Доверительной вероятностью (достоверность, надежность) P_{δ} измерения называется вероятность $\varphi(t)$ того, что истинное значение измеряемой величины попадает в заданный доверительный интервал. Эта величина определяется в процентах или долях единицы и соотношением, называемым удвоенным интегралом Лапласа, который берется как удвоенный интеграл от функции (5.9).

$$P_{\delta} = \varphi(t) = 2 \int_0^t f(x) dx = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^t e^{-\frac{x^2}{2}} dx, \quad (5.11)$$

Аргументом этой функции является t – нормированное отклонение (гарантийный коэффициент), значение которого обычно задается.

Некоторые расчетные значения удвоенного интеграла Лапласа в зависимости от гарантийного коэффициента приводятся в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Численные значения удвоенного интеграла Лапласа в зависимости от гарантийного коэффициента

t	P_{δ}	t	P_{δ}	t	P_{δ}
0,20	0,1585	1,10	0,7287	1,75	0,9199
0,30	0,2357	1,20	0,7699	1,80	0,9281
0,40	0,3108	1,30	0,8064	1,85	0,9357
0,50	0,3829	1,40	0,8385	1,90	0,9426
0,60	0,4515	1,50	0,8664	1,95	0,9488
0,70	0,5161	1,55	0,8789	2,00	0,9545
0,80	0,5763	1,60	0,8904	2,25	0,9756
0,90	0,6319	1,65	0,9011	2,50	0,9876
1,00	0,6827	1,70	0,9109	3,00	0,9973

При $t = 1$ величина $\mu = \pm\sigma$ и для нормального закона распределения границы доверительного интервала проходят через точки перегиба кривой распределения. Вероятность того, какие-то из измерений не выйдут за эти пределы, составляет 0,6827, что геометрически иллюстрируется заштрихованной площадью (рисунок 5.1).

Количество измерений, на которые приходится одно с погрешностью превышающей доверительный интервал, при нормальном законе распределения определяется:

$$n_{из} = \frac{\varphi(t)}{1 - \varphi(t)}. \quad (5.12)$$

При выполнении измерений необходимо знать их точность:

$$m = \sigma_o / \bar{x}. \quad (5.13)$$

где σ_o – величина, называемая *средней ошибкой* и определяемая $\sigma_o = \sigma / \sqrt{n}$.

В исследованиях часто по заданной точности m и доверительной вероятности P_d измерения требуется определить минимальное количество измерений N_{min} , гарантирующих требуемые величины m и P_d . Для этих целей в большинстве случаев используют приближенные зависимости:

$$N_{min} = \frac{\sigma^2 \cdot t^2}{\sigma_o^2} = \frac{k_e^2 \cdot t^2}{m^2}. \quad (5.14)$$

Определяемое таким образом требуемое количество измерений в значительной мере зависит от желаемой точности и может быть сравнительно небольшим. При проведении экспериментов в области сельскохозяйственных наук оно часто бывает в пределах 3...5.

Оценки измерений по приведенным методам с помощью σ и σ_0 справедливы лишь при большом числе измерений (генеральная совокупность). При малом числе измерений (выборочная совокупность) для нахождения границы доверительного интервала применяют метод Госсета (псевдоним для научных публикаций – Стьюдент). Кривые распределения Стьюдента при $n \geq 20$ практически совпадают с кривой нормального распределения.

Для малого количества n величина (сравни с формулой 5.11), составляющая половину доверительного интервала ошибки измерений обозначается $\mu_{\tilde{n}\delta}$ и определяется по зависимости:

$$\mu_{ct} = \sigma_0 \cdot \alpha_{ct}, \quad (5.15)$$

где α_{ct} – коэффициент Стьюдента, принимаемый по таблице в зависимости от значения доверительной вероятности P_δ . (таблица 5.2).

Строгих правил в выборе доверительной вероятности нет. При проведении исследований в области сельского хозяйства часто доверительную вероятность P_δ , принимают равным 0,9; 0,95; 0,99. Для измерений, связанных с конструкциями машин, вполне достаточно $P_\delta = 0,9$. При определении деталей искомым закономерностей и значений величин, являющихся основой для дальнейшего расчета, необходима доверительная вероятность $P_\delta = 0,99$.

Зная μ_{ct} можно вычислить действительное значение измеряемой величины x_δ по малой выборке измерений $x_\delta = \bar{x} \pm \mu_{ct}$.

В процессе обработки экспериментальных данных следует исключать измерения, содержащие грубые ошибки. Однако прежде, чем измерение исключается, необходимо убедиться, что оно содержит действительно грубую ошибку. Известно несколько методов определения ошибок статистического ряда.

Наиболее простым является правило *трех сигм*, по которому разброс случайных величин от среднего значения не должен превышать

$$x_{max(min)} = \bar{x} \pm 3\sigma. \quad (5.16)$$

Таблица 5.2 – Коэффициенты Стьюдента ($\alpha_{ст}$)

n	P_α					
	0,80	0,90	0,95	0,99	0,995	0,999
2	3,080	6,31	12,71	63,70	127,30	637,20
3	1,886	2,92	4,30	9,92	14,10	31,60
4	1,638	2,35	3,18	5,84	7,50	12,94
5	1,533	2,13	2,77	4,60	5,60	8,61
6	1,476	2,02	2,57	4,03	4,77	6,86
7	1,440	1,94	2,45	3,71	4,32	5,96
8	1,415	1,90	2,36	3,50	4,03	5,40
9	1,397	1,86	2,31	3,36	3,83	5,04
10	1,383	1,83	2,26	3,25	3,69	4,78
12	1,363	1,80	2,20	3,11	3,50	4,49
14	1,350	1,77	2,16	3,01	3,37	4,22
16	1,341	1,75	2,13	2,95	3,29	4,07
18	1,333	1,73	2,11	2,90	3,22	3,96
20	1,328	1,70	2,09	2,86	3,17	3,88
30	1,316	1,68	2,04	2,75	3,15	3,65
60	1,290	1,67	2,00	2,66	3,06	3,46
∞	1,282	1,64	1,96	2,58	2,81	3,29

Чаще используется более достоверный метод, применяемый для малой выборки измерений при нормальном законе распределения. Здесь критерии грубых ошибок определяются по формулам:

$$\beta_{\max} = \frac{x_{\max} - \bar{x}}{\sqrt{\frac{n-1}{n} \cdot \sigma}}; \quad (5.17)$$

$$\beta_{\min} = \frac{\bar{x} - x_{\min}}{\sqrt{\frac{n-1}{n} \cdot \sigma}}. \quad (5.18)$$

где x_{\max} , x_{\min} – наибольшее и наименьшее значения из n измерений.

В таблице 5.3 приведены в зависимости от доверительной вероятности максимальные значения β_{\max} , возникающие вследствие разброса измерений.

Таблица 5.3 – Значения критерия появления грубых погрешностей (ошибок) β_{\max}

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

Если $\beta_1 \geq \beta_{max}$, то значение x_{max} необходимо исключить из статистического ряда, как грубую погрешность. При $\beta_2 \leq \beta_{min}$ исключается x_{min} . После исключения данной пары содержащей грубые погрешности, определяются новые значения x_{max} , x_{min} , которые вновь подвергаются проверке. Эта операция повторяется до тех пор, пока все измерения, содержащие грубые погрешности не будут исключены.

Экспериментальные исследования должны проверяться так же на воспроизводимость результатов. Такая проверка возможна, если имеется несколько серий параллельно выполненных экспериментов. Число серий n_c рекомендуется брать от 2 до 4.

Чтобы оценить воспроизводимость, рассчитывают критерий Кохрена следующей зависимости:

$$k_k = \frac{D_{i \max}}{\sum_1^m D_i}, \quad (5.19)$$

где $D_{i \max}$ – наибольшее из значений дисперсий из числа рассматриваемых, параллельных серий;

$\sum D_i$ – сумма дисперсий n_c серий.

Опыты считаются воспроизводимыми, если $k_k \leq k_{km}$, где k_{km} – табличное значение критерия Кохрена (таблица 5.4), принимаемое в зависимости от числа серий экспериментов n_c , доверительной вероятности P_δ и числа степеней свободы $q = n - 1$, где n – число измерений в серии.

Таблица 5.4 – Значения критерия Кохрена

n_c	Критерий Кохрена при $P_\delta = 0,95$									
	$q = n - 1$									
	1	2	3	4	5	6	8	10	16	36
2	0,99	0,97	0,93	0,90	0,87	0,85	0,81	0,78	0,73	0,66
3	0,97	0,93	0,79	0,74	0,70	0,76	0,63	0,60	0,54	0,47
4	0,90	0,76	0,68	0,62	0,59	0,56	0,51	0,48	0,43	0,36
5	0,84	0,68	0,60	0,54	0,50	0,48	0,44	0,41	0,36	0,26
6	0,78	0,61	0,53	0,48	0,44	0,42	0,38	0,35	0,31	0,25

Рассмотренные выше положения позволяют экспериментатору составить свою методику обработки экспериментальных исследований.

5.3 Определение минимального количество опытов

При планировании эксперимента часто возникает вопрос, как определить минимальное количество измерений N_{min} .

В инженерных экспериментах может быть принята следующая последовательность определения минимального количества измерений N_{min} .

1. Проводиться предварительный эксперимент с количеством измерений n , которое может составить в зависимости от трудоемкости опыта 20 до 50.

2. Вычисляются значения среднеарифметической величины \bar{x} всех результатов измерений (формула 5.3), дисперсии (формула 5.5), среднеквадратичного отклонения (стандарта) (формула 5.6), коэффициента вариации по формуле (5.7).

3. В соответствии с поставленными задачами эксперимента устанавливается требуемая точность измерений, которая не должна превышать точности прибора.

4. Устанавливается нормированное отклонение t (гарантийный коэффициент), значение которого обычно задается.

5. По формуле (5.14) рассчитывается минимальное количество измерений N_{min} . В дальнейшем при проведении основных экспериментов число измерений не должно быть меньше чем расчетное.

Для удобства при проведении экспериментов можно пользоваться таблицей 5.5.

Таблица 5.5 – Необходимое количество опытов (измерений)

Коэффициент нормированной ошибки, t	Доверительная вероятность (достоверность, надежность), P_δ							
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,99	0,999
3,0	1	1	1	1	2	3	4	5
2,0	1	1	1	2	3	4	5	7
1,0	2	2	3	4	5	7	11	17
0,5	3	4	6	9	13	18	31	50
0,4	4	6	8	12	19	27	46	74
0,3	6	9	13	20	32	46	78	127
0,2	13	19	29	43	70	99	171	277
0,1	47	72	169	266	273	387	668	1089
0,05	183	285	431	659	1084	1540	2659	4338
0,01	4543	7090	10732	16436	27161	38416	66358	108307

Для того чтобы найти по таблице 5.5 необходимое количество опытов (измерений одной и той же величины), необходимо задаться доверительной вероятностью (достоверностью, надежностью) P_{δ} и доверительным интервалом (ошибкой) μ , взятой в долях от среднеквадратичного отклонения (стандарта) σ , т.е. ($\mu = \pm t \cdot \sigma$).

Абсолютное значение стандарта σ зависит от точности измерительного прибора, поэтому и доверительная вероятность (достоверность, надежность) P_{δ} измерений зависят как от точности измерительного прибора, так и от количества измерений.

Надо помнить, чтобы добиться желаемой доверительной вероятности (достоверности, надежности) P_{δ} всегда выгоднее увеличить точность прибора, а не количество измерений.

Как было отмечено выше, строгих правил в выборе доверительной вероятности (достоверности, надежности) P_{δ} нет. При исследованиях закономерностей в общем виде (без деталей), например характера кривых развития явления, достаточна $P_{\delta} = 0,7$. При проведении исследований в области сельского хозяйства часто доверительную вероятность P_{δ} , принимают равным 0,9; 0,95; 0,99. Для измерений, связанных с конструкциями машин, вполне достаточно $P_{\delta} = 0,9$. При определении деталей искомым закономерностей и значений величин, являющихся основой для дальнейшего расчета, необходима доверительная вероятность $P_{\delta} = 0,99$.

Если поисковые опыты не проводились и нет данных, по которым можно было бы установить значение среднеквадратичного отклонения (стандарта) σ , можно принять, что предельная ошибка приближенно равна наибольшей возможной статистической, т.е. $\pm 3\sigma$.

Таким образом, рассмотренные в данном разделе положения помогут начинающему исследователю грамотно организовать эксперимент и проверить адекватность их результатов.

6 ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

6.1 Методологические основы применения метода имитационного моделирования

Имитационное моделирование – есть процесс конструирования на ЭВМ модели сложной реальной системы, функционирующей во времени, и постановки экспериментов на этой модели.

Имитационное моделирование как метод очень широко применяется при исследовании автоматизированных информационных систем (АИС).

АИС – это совокупность различных программно-аппаратных средств, которые предназначены для автоматизации какой-либо деятельности,

Цели имитационных экспериментов:

1. Понять поведение исследуемой системы (о которой по каким-либо причинам было «мало» информации).
2. Оценить различные возможные стратегии функционирования данной системы и управления данной системой.

Этапы имитационного моделирования:

1. Первый этап – конструирование модели на ЭВМ и проведение экспериментов с этой моделью. На этом этапе весьма важно грамотно провести информационное обследование, разработку всех видов документации и их реализацию.

2. Второй этап – предполагает использование методов планирования эксперимента с учетом особенностей машинной имитации.

С помощью имитационного моделирования исследуют сложные системы. Понятие «сложность» является субъективным, и по сути выражает отношение исследователя к объекту моделирования.

Признаки «сложности» системы:

- наличие большого количества взаимосвязанных и взаимодействующих элементов;
- сложность функции (функций), выполняемой системой;
- возможность разбиения системы на подсистемы (декомпозиции);
- наличие управления (часто имеющего иерархическую структуру), разветвленной информационной сети и интенсивных потоков информации;
- наличие взаимодействия с внешней средой и функционирование в условиях воздействия случайных (неопределенных) факторов.

Методом имитационного моделирования исследуют системы, *функционирующие во времени*, что определяет необходимость создания и использования специальных методов (механизмов) управления системным временем.

Имитационное моделирование в исследованиях применяются, если:

- идет процесс познания объекта моделирования;
- аналитические методы исследования имеются, но составляющие их математические процедуры очень сложны и трудоемки;
- необходимо осуществить наблюдение за поведением компонентов системы в течение определенного времени;
- необходимо контролировать протекание процессов в системе путем замедления или ускорения явлений в ходе имитации;
- особое значение имеет последовательность событий в проектируемых системах и модель используется для предсказания так называемых «узких» мест;
- есть необходимость подготовки специалистов для приобретения необходимых навыков в эксплуатации новой техники;
- имитационное моделирование оказывается единственным способом исследований из-за невозможности проведения реальных экспериментов.

Основные достоинства имитационного моделирования:

- имитационная модель позволяет в принципе описать моделируемый процесс с большей адекватностью, чем другие;
- имитационная модель обладает известной гибкостью варьирования структуры, алгоритмов и параметров системы;
- применение ЭВМ существенно сокращает продолжительность испытаний по сравнению с натурным экспериментом (если он возможен), а также их стоимость.

Основные недостатки имитационного моделирования:

- решение, полученное на имитационной модели, всегда носит частный характер, так как оно соответствует фиксированным элементам структуры, алгоритмам поведения и значениям параметров системы;
- большие трудозатраты на создание модели и проведение экспериментов, а также обработку их результатов;
- если использование системы предполагает участие людей при проведении машинного эксперимента, на результаты может оказать влияние так называемый *хауторнский эффект* (закрывающийся в том, что люди, зная (чувствуя), что за ними наблюдают, могут изменить свое обычное поведение).

Итак, само использование термина *«имитационное моделирование»* предполагает работу с такими математическими моделями, с помощью которых результат исследуемой операции нельзя заранее вычислить или предсказать, поэтому необходим эксперимент (имитация) на модели при заданных исходных данных.

В свою очередь, сущность машинной имитации заключается в реализации численного метода проведения на ЭВМ экспериментов с математическими моделями, описывающими поведение сложной системы в течение заданного или формируемого периода времени.

Каждая имитационная модель представляет собой комбинацию шести основных составляющих:

1. *Компоненты* – составные части, которые при соответствующем объединении образуют систему. Компоненты называют также элементами системы или ее подсистемами. Например, в модели протравливателя семян зерновых культур в качестве компонентов могут выступать: система подачи семян, система приготовления и подачи рабочей жидкости.

2. *Параметры* – величины, которые исследователь (пользователь модели) может выбирать произвольно, т.е. управлять ими.

3. *Переменные* – в отличие от параметров могут принимать только значения, определяемые видом данной функции.

Например, в выражении для плотности вероятности нормально распределенной случайной величины X (выражение 5.8):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(x - m(x))^2}{2\sigma^2}\right].$$

параметры – m_x, σ_x , переменная – x ;

константы – π, e .

Переменные могут быть:

– экзогенные (являющиеся для модели входными и порождаемые вне системы);

– эндогенные (возникающие в системе в результате воздействия внутренних причин) переменные, которые иногда называются переменными состояния.

4. *Функциональные зависимости* описывают поведение параметров и переменных в пределах компонента или же выражают соотношения между компонентами системы. Эти соотношения могут быть либо детерминированными (определенными, закономерными), либо стохастическими (неопределенными).

5. *Ограничения* – устанавливаемые пределы изменения значений переменных или ограничивающие условия их изменения.

Ограничения могут быть:

- искусственные, которые вводятся разработчиком;
- естественные, которые определяются самой системой вследствие присущих ей свойств.

6. *Целевая функция* предназначена для измерения степени достижения системой желаемой (требуемой) цели и вынесения оценочного суждения по результатам моделирования. Эту функцию также называют функцией критерия.

По сути, весь машинный эксперимент с имитационной моделью заключается в поиске таких стратегий управления системой, которые удовлетворяли бы одной из трех концепций ее рационального поведения:

- оптимизации;
- пригодности;
- адаптивизации.

При реализации имитационной модели, как правило, рассматриваются не все реально осуществляемые функциональные действия (ФД) системы рассматриваемой модели (ФД'), а только те из них, которые являются наиболее существенными для исследуемой операции. Кроме того, реальные ФД аппроксимируются упрощенными действиями ФД' причем степень этих упрощений определяется уровнем детализации учитываемых в модели факторов.

Названные обстоятельства порождают ошибки имитации процесса функционирования реальной системы, что, в свою очередь, обуславливает адекватность модели объекту-оригиналу и достоверность получаемых в ходе моделирования результатов.

На *рисунке 6. 1* схематично представлен пример выполнения некоторых ФД в i – *ом* компоненте *реальной системы* и ФД' в i – *ом* компоненте ее модели.

В i – *ом* компоненте реальной системы последовательно выполняются ФД _{$i1$} , ФД _{$i2$} , ФД _{$i3$} , ... за время τ_{i1} , τ_{i2} , τ_{i3} , ... соответственно. На *рисунке*

эти действия условно изображены пунктирными («непрямыми») стрелками. В результате $\Phi Д$ наступают соответствующие события: $C_{i1}, C_{i2}, C_{i3}, \dots$

В модели последовательность имитации иная: выполняется $\Phi Д'_{i1}$ при неизменном времени, наступает модельное событие a , после чего время сдвигается на величину τ_{i1} , инициируя наступление события C_{i1} и т.д.

Иными словами, модельной реализации упрощенных $\Phi Д$ ($\Phi Д'$) соответствует ломаная $(0, a, C_{i1}, b, C_{i2}, d, C_{i3}, \dots)$.

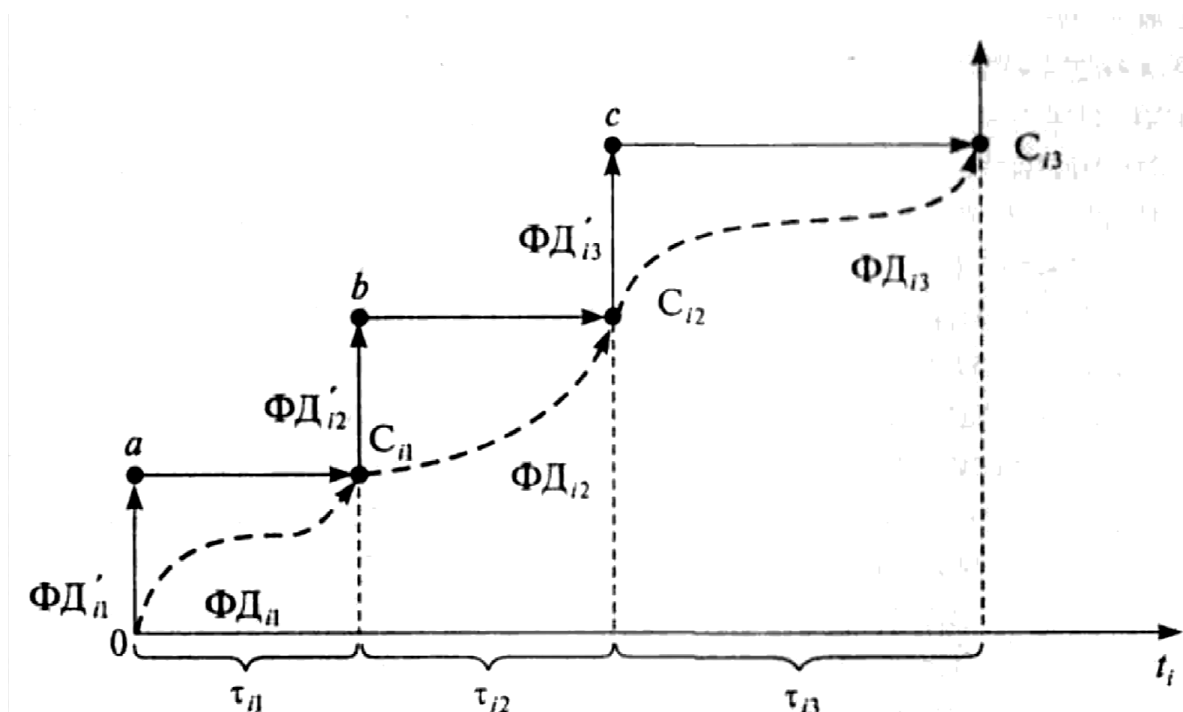


Рисунок 6.1 – Схема моделирования функциональных действий в i -ом компоненте

Очевидно, что в реальной системе в различных ее компонентах могут одновременно (параллельно) производиться функциональные действия и соответственно наступать события.

В большинстве же современных ЭВМ в каждый из моментов времени можно обрабатывать лишь один алгоритм какого-либо $\Phi Д$. Поэтому

возникает задача: как учесть параллельность протекания процессов в реальной системе без потери существенной информации о ней. Для решения данной задачи, т. е. для обеспечения имитации наступления параллельных событий в реальной системе вводят специальную глобальную переменную t_0 , которую называют *модельным (системным) временем*. Именно с помощью этой переменной организуется синхронизация наступления всех событий в имитационной модели и выполнение алгоритмов функционирования ее компонентов. Этот принцип моделирования называется *принципом квазипараллелизма*.

Таким образом, при реализации имитационных моделей используют три представления времени:

- реальное время системы – t_P ;
- модельное (системное) время – t_0 я;
- машинное время имитации – t_M и.

6.2 Классификация имитационных моделей

Имитационные модели классифицируются по четырем основным признакам.

1. По типу используемой ЭВМ:

- А) Аналоговые;
- Б) Цифровые (наиболее широко применяемые);
- В) Гибридные.

2. По способу взаимодействия с пользователем:

А) Автоматические (не требующие вмешательства исследователя после определения режима моделирования и задания исходных данных);

Б) Интерактивные (предусматривающие диалог с пользователем в том или ином режиме в соответствии со сценарием моделирования). Применяются для моделирования сложных систем.

3. По способу управления системным временем:

А) Задание времени с помощью *постоянных* временных интервалов (способ «постоянных шагов»). Графическая иллюстрация данного способа представлена на рисунке 6.2.

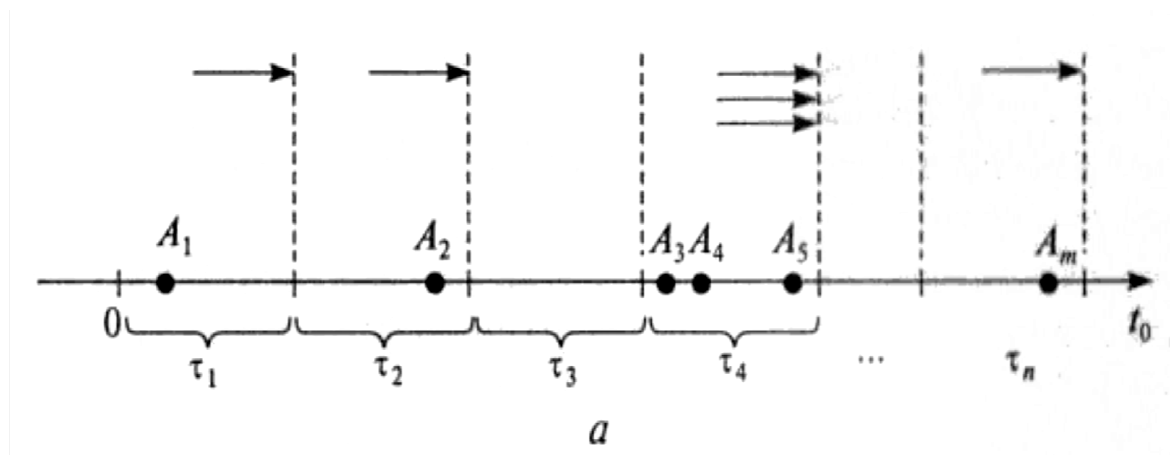


Рисунок 6.2 – Схема реализации способа «постоянных шагов»

При реализации способа управления системное время сдвигается на один и тот же интервал (шаг моделирования) независимо от того, какие события должны наступать в системе. При этом наступление всех событий, имевших место на очередном шаге, относят к его окончанию.

Для этого способа считают, что событие A_1 наступило в момент окончания первого шага; событие A_2 – в момент окончания второго шага; события A_3 , A_4 , A_5 – в момент окончания четвертого шага (эти моменты показаны стрелками) и т.д.

Данный способ более легко реализуем: достаточно менять временную координату на фиксированный шаг и проверять, какие события уже наступили. Метод постоянного шага целесообразно применять в следующих случаях:

- события в системе появляются регулярно;
- число событий велико;
- все события являются для исследователя существенными (или заранее неизвестно, какие из них существенны).

Б). Задание времени с помощью *переменных* временных интервалов (моделирование по особым состояниям, способ «переменных шагов»). Графическая иллюстрация данного способа представлена на рисунке 6.3. Здесь существуют две разновидности:

– со смещением по особым состояниям, где время каждый раз изменяется на величину, соответствующую интервалу времени до планируемого момента наступления следующего события, т.е. события обрабатываются поочередно – каждое «в свое время». Если в реальной системе какие-либо события наступают одновременно, это фиксируется в модели. Для реализации этого механизма требуется специальная процедура, в которой отслеживаются времена наступления всех событий и из них выделяется ближайшее по времени. Такую процедуру называют календарем событий.

– с реверсированием (обращением) шага по времени, предусматривающая возможность изменения порядка обработки событий. Согласно этому механизму, все события в системе разбиваются на два класса: фазовые и простые. К первым относят события, порядок моделирования которых нельзя изменять во избежание нарушения причинно-следственных связей в моделируемой системе. Остальные события относят к простым. Сначала моделируют очередное фазовое событие, а затем все простые события до этого фазового, причем в произвольном порядке.

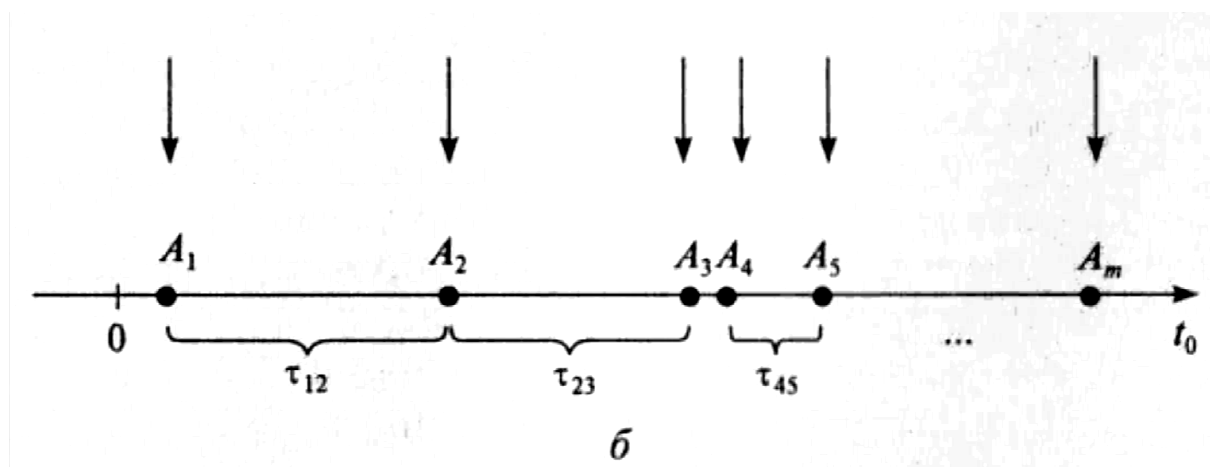


Рисунок 6.3 – Схема реализации способа «переменных шагов»

4. По способам организации квазипараллелизма (схеме формализации моделируемой системы):

А) просмотр активностей;

Б) составление расписания событий;

В) управление обслуживанием транзактов (*транзакты* – абстрактные динамические объекты, которые характеризуются определенными свойствами, задаваемыми значениями параметров и в ходе моделирования могут создаваться, перемещаться по модели и уничтожаться);

Г) управление агрегатами;

Д) синхронизация процессов.

Для более полного раскрытия и понимания данного способа организации квазипараллелизма необходимо введение следующих понятий.

Атрибуты (параметры) – используются для задания свойств объектов.

Совокупность объектов с одним и тем же набором атрибутов называют «*Класс объектов*».

Все объекты делят на *активные* (представляющие в модели те объекты реальной системы, которые способны функционировать самостоятельно и выполнять некоторые действия над другими объектами) и *пассивные* (представляющие реальные объекты, самостоятельно в рамках данной модели не функционирующие).

Активность (работа) представляется в модели набором операторов, выполняемых в течение некоторого времени и приводящих к изменению состояний объектов системы. В рамках конкретной модели любая работа рассматривается как единый дискретный шаг (возможно, состоящий из других работ). Каждая работа характеризуется временем выполнения и потребляемыми ресурсами.

Событие представляет собой мгновенное изменение состояния некоторого объекта системы (т.е. изменение значений его атрибутов). Окончание любой активности в системе является событием, так как приводит к

изменению состояния объекта (объектов), а также может служить инициатором другой работы в системе.

Процесс – логически связанный набор активностей, относящихся к одному объекту. Выполнение таких активностей называют *фазой процесса*.

Различие между понятиями «*активность*» и «*процесс*» полностью определяется степенью детализации модели. Например, смена позиций мобильным объектом в одних моделях может рассматриваться как сложный процесс, а в других как работа по изменению за некоторое время номера позиции.

Процессы, включающие одни и те же типы работ и событий, относят к одному классу. Таким образом, моделируемую систему можно представить соответствующим числом классов процессов. Между двумя последовательными фазами (работами) некоторого процесса может иметь место любое число фаз других процессов, а их чередование в модели, собственно, и выражает суть квазипараллелизма.

Рассмотренные понятия *способа организации квазипараллелизма (схеме формализации моделируемой системы)* и их раскрытие позволяют понять каждый способ. Рассмотрим, в каких случаях применяется каждый способ организации квазипараллелизма.

А) Способ просмотра активностей применяется при следующих условиях:

– все функциональные действия (*ФД*) компонента реальной системы различны, причем для выполнения каждого из них требуется выполнение некоторых (своих) условий;

– условия выполнимости известны исследователю заранее и могут быть заданы алгоритмически;

– в результате *ФД* в системе наступают различные события;

– связи между *ФД* отсутствуют, и они осуществляются независимо друг от друга.

В последнем случае имитационная модель состоит из двух частей:

1. Множества активностей (работ).

2. Набора процедур проверки выполнимости условий инициализации активностей, т.е. возможности передачи управления на реализацию алгоритма этой активности.

Проверка выполнимости условия инициализации работы основана либо на анализе значений параметров и (или) переменных модели, либо вычислении моментов времени, когда должно осуществляться данное *ФД*.

После выполнения каждой активности производится модификация системного времени для данного компонента и управление передается в специальный управляющий модуль, что и составляет суть имитации для этого способа организации квазипараллелизма.

Б) Способ составления расписания событий применяется в тех случаях, когда реальные процессы характеризуются рядом достаточно строгих ограничений:

- различные компоненты выполняют одни и те же *ФД*;
- начало выполнения этих *ФД* определяются одними и теми же условиями, причем они известны исследователю и заданы алгоритмически;
- в результате *ФД* происходят одинаковые события независимо друг от друга;
- связи между *ФД* отсутствуют, а каждое *ФД* выполняется независимо.

В указанных условиях имитационная модель, по сути, состоит из двух процедур:

1. Проверки выполнимости событий.
2. Обслуживания (обработки) событий.

Выполнение этих процедур синхронизируется в модельном времени так называемым списковым механизмом планирования.

Процедура проверки выполнимости событий схожа с ранее рассмотренными способами для просмотра активностей. При этом следует помнить, что окончание любой работы является событием и может

инициализировать другую активность с учетом того, что при выполнении условия происходит не инициализация работы, а обслуживание (розыгрыш) события с последующим изменением системного времени для данного компонента.

В) Способ управления обслуживанием транзактов применяется в том случае, когда связь между приборами массового обслуживания устанавливается с помощью системы очередей, выбранных способов генерации, обслуживания и извлечения транзактов. Так организуется появление транзактов, управление их движением, нахождение в очереди, задержки в обслуживании, уход транзакта из системы и т.п. Событием в такой имитационной модели является момент инициализации любого транзакта.

Типовыми структурными элементами модели при данном способе являются:

- источники транзактов;
- их поглотители;
- блоки, имитирующие обслуживание заявок;
- управляющий модуль.

Имитация функционирования реальной системы производится путем выявления очередной (ближайшей по времени) заявки, ее обслуживания, обработки итогов обслуживания (появления нового транзакта; поглощения заявки; изменения возможного времени поступления следующего транзакта и т.п.), изменения системного времени до момента наступления следующего события.

Г) Способ управления агрегатами. В случае построения имитационной модели данным способом организации квазипараллелизма особое внимание следует уделять оператору перехода системы из одного состояния в другое. Имитация производится за счет передачи управления от агрегата к агрегату при выполнении определенных условий, формирования различных сигналов и их доставки адресату, отработки внешних сигналов, изменения состояния агрегата и т.п. При этом в управляющем модуле осуществляется временная синхронизация состояний всех агрегатов.

Способ управления агрегатами, в основном, ориентирован на использование типовых математических схем (типовых агрегатов) для описания компонентов системы и организации их взаимодействия одним из перечисленных способов.

Д) Способ синхронизации процессов организации квазипараллелизма применяется когда:

- все функциональные действия (ФД) компонентов реальной системы различны;
- условия инициализации ФД также различны;
- в любой момент времени в данном компоненте может выполняться только одно ФД;
- последовательность ФД в каждом компоненте определена.

Принято считать, что процессный подход объединяет лучшие черты других способов: краткость описания активностей и эффективность событийного представления имитации.

Процессным способом можно организовать имитацию автоматизированных информационных систем (АИС) любой сложности, но такой способ особенно эффективен в тех случаях, когда требуется высокий уровень детализации выполнения ФД, а сама имитационная модель используется для поиска «узких» мест в работе системы.

В обобщенном виде классификация имитационных моделей по способам организации квазипараллелизма (схеме формализации моделируемой системы) представлена на рисунке 6.4.

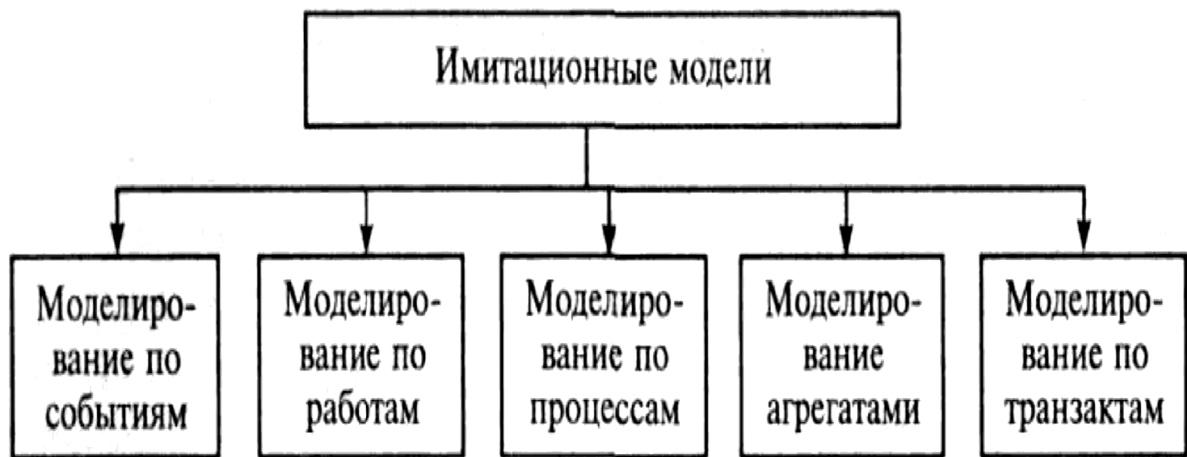


Рисунок 6.4 – Классификация имитационных моделей по способу организации квазипараллелизма

Следует отметить, что в настоящее время для реализации всех перечисленных схем формализации моделируемой системы созданы специализированные программные средства, ориентированные на данный способ организации квазипараллелизма. Это, с одной стороны, облегчает программную реализацию модели, однако, с другой стороны, повышает ответственность исследователя за правильность выбора соответствующей схемы.

6.3 Основные этапы имитационного моделирования

Выше отмечалось, что имитационное моделирование применяется для исследования сложных систем. Естественно, что и имитационные модели оказываются достаточно сложными как с точки зрения заложенного в них математического аппарата, так и в плане реализации на ЭВМ.

При этом сложность любой модели определяется двумя факторами:

1. Сложностью исследуемого объекта-оригинала.
2. Точностью, предъявляемой к результатам расчетов.

Использование компьютерного эксперимента как средства решения сложных прикладных проблем, несмотря на присущую каждой конкретной задаче специфику, имеет ряд общих свойств (этапов).

На рисунке 6.5 представлены этапы применения математической

(имитационной) модели.

Каждому из показанных на рисунке этапов присущи собственные приемы, методы, технологии.

После того как имитационная модель реализована на ЭВМ, исследователь должен выполнить последовательность следующих этапов (их часто называют технологическими):

1. Испытание модели.
2. Исследование свойств модели.
3. Планирование имитационного эксперимента.
4. Эксплуатация модели (организации проведения модельных расчетов и обработки их результатов выходят).

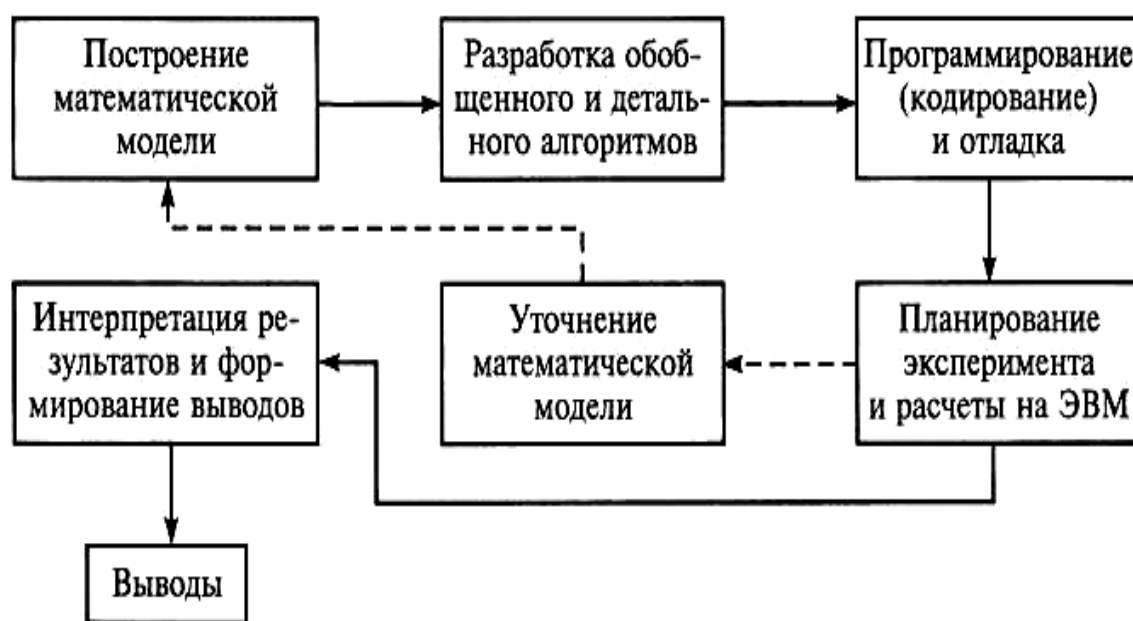


Рисунок 6.5 – Этапы применения математической (имитационной) модели.

Кратко охарактеризуем *первые два этапа* (два последних этапа – изложение методов математической теории планирования эксперимента и организации проведения модельных расчетов и обработки их результатов частично рассматривались в предыдущих разделах).

1. Первый этап – испытание имитационной модели, которая включает в себя следующие подэтапы.

А). Задание исходной информации. Процедура задания исходной информации полностью определяется типом моделируемой системы:

– если моделируется функционирующая (существующая) система, проводят измерение характеристик ее функционирования и затем используют эти данные в качестве исходных при моделировании;

– если моделируется проектируемая система, проводят измерения на прототипах;

– если прототипов нет, используют экспертные оценки параметров и переменных модели, формализующих характеристики реальной системы.

Б) Верификация (проверку, подтверждение) имитационной модели состоит в доказательстве утверждений соответствия алгоритма ее функционирования цели моделирования путем *формальных* и *неформальных* исследований реализованной программы модели.

Формальные методы включают:

– использование специальных процессоров-«читателей» программ;

– замену стохастических элементов модели детерминированными элементами;

– тест на так называемую непрерывность моделирования и др.

Неформальные исследования представляют собой ряд процедур, входящих в автономную и комплексную отладку.

В) Проверка адекватности (совпадения, соответствия) модели).

Количественную оценку адекватности модели объекту исследования проводят для случая, когда можно определить значения отклика системы в ходе натуральных испытаний.

Наиболее распространены три способа проверки:

– по средним значениям откликов модели и системы;

– по дисперсиям отклонений откликов;

– по максимальному значению абсолютных отклонений откликов.

Если возможность измерения отклика реальной системы отсутствует, оценку адекватности модели проводят на основе субъективного суждения соответствующего должностного лица о возможности использования результатов, полученных с использованием этой модели, при выполнении им служебных обязанностей, в частности, при обосновании каких-либо решений.

Г) Калибровка имитационной модели. К калибровке имитационной модели приступают в случае, когда модель оказывается неадекватной реальной системе. За счет калибровки иногда удается уменьшить неточности описания отдельных подсистем (элементов) реальной системы и тем самым повысить достоверность получаемых модельных результатов.

В модели при калибровке возможны изменения трех типов:

- глобальные структурные изменения;
- локальные структурные изменения;
- изменение так называемых калибровочных параметров в результате реализации достаточно сложной итерационной процедуры, включающей многократное построение регрессионных зависимостей и статистическую оценку значимости улучшения модели на очередном шаге.

При необходимости проведения некоторых локальных и особенно глобальных структурных изменений приходится возвращаться к содержательному описанию моделируемой системы и искать дополнительную информацию о ней.

2. Второй этап – исследование свойств имитационной модели. После испытаний имитационной модели переходят к изучению ее свойств.

При этом наиболее важны четыре процедуры:

- оценка погрешности имитации;
- определение длительности переходного режима в имитационной модели;
- оценка устойчивости результатов имитации;
- исследование чувствительности имитационной модели.

А). Оценка погрешности имитации, связанной с использованием в модели генераторов псевдослучайных чисел (ГПСЧ). ГПСЧ – это алгоритм, порождающий последовательность чисел, элементы которой почти независимы друг от друга и подчиняются заданному распределению (обычно равномерному).

Исследование качества ГПСЧ проводится известными методами теории вероятностей и математической статистики. Важнейшим показателем качества любого ГПСЧ является период последовательности псевдослучайных чисел (при требуемых статистических свойствах). В большинстве случаев о качестве ГПСЧ судят по оценкам математических ожиданий и дисперсий отклонений компонент функции отклика. Как уже отмечалось, для подавляющего числа практических задач стандартные (встроенные) генераторы дают вполне пригодные последовательности псевдослучайных чисел.

Б). Определение длительности переходного режима. Обычно имитационные модели применяются для изучения системы в типичных для нее и повторяющихся условиях. В большинстве стохастических моделей требуется некоторое время T_0 для достижения модели установившегося состояния.

Под установившимся состоянием (статистическим равновесием) модели понимают такое состояние, в котором противодействующие влияния сбалансированы и компенсируют друг друга. Иными словами: модель находится в равновесии, если ее отклик не выходит за предельные значения.

Существует три способа уменьшения влияния начального периода на динамику моделирования сложной системы:

- использование «длинных прогонов», позволяющих получать результаты после заведомого выхода модели на установившийся режим;
- исключение из рассмотрения начального периода прогона;
- выбор таких начальных условий, которые ближе всего к типичным.

Для отделения переходного режима от стационарного у исследователя должна быть возможность наблюдения за моментом входа контролируемого параметра в стационарный режим. Часто используют такой метод: строят

графики изменения контролируемого параметра в модельном времени и на нем выявляют переходный режим.

На рисунке 6.6 представлен график изменения $k - zO$ контролируемого параметра модели g_k в зависимости от модельного времени t_0 .

На рисунке видно, что, начиная со времени $t_{перех}$ этот параметр «вошел» в установившийся режим со средним значением \bar{g}_k .

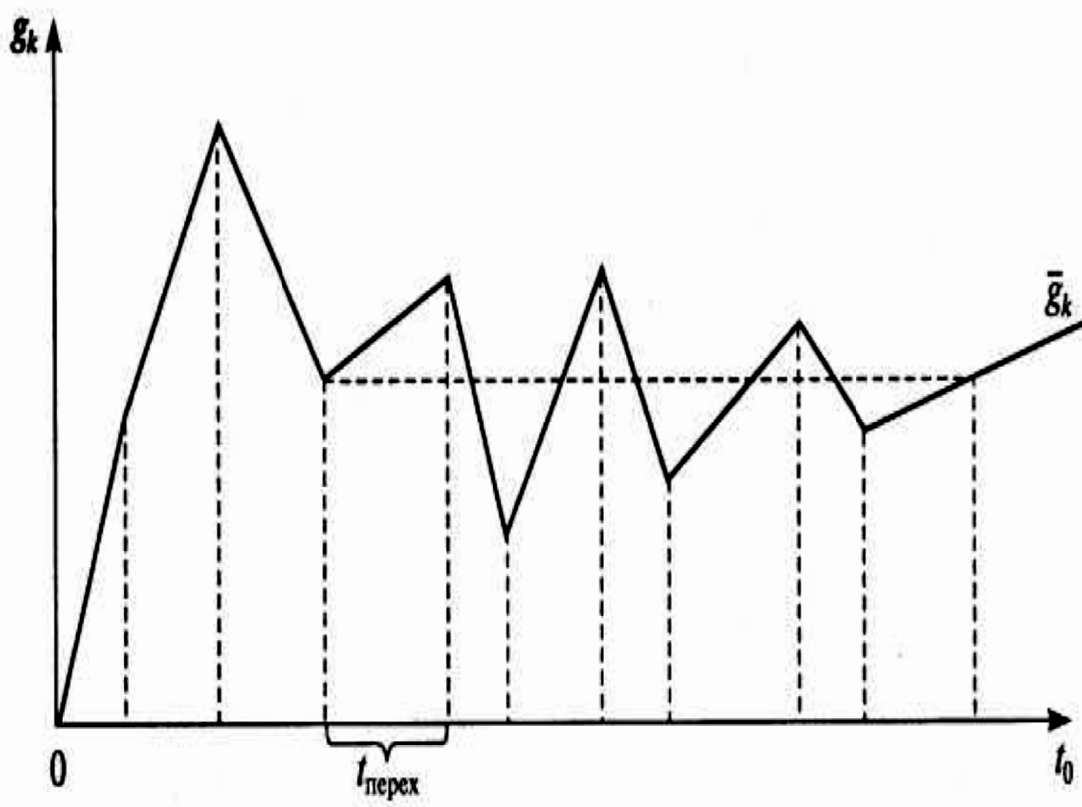


Рисунок 6.6 – Определение длительности переходного периода

Если построить подобные графики для всех (или большинства существенных) контролируемых параметров модели, определить для каждого из них длительность переходного режима и выбрать из них наибольшую, в большинстве случаев можно считать, что после этого времени все интересующие исследователя параметры находятся в установившемся режиме.

В). Оценка устойчивости результатов имитации. Под устойчивостью результатов имитации понимают степень их нечувствительности к изменению входных условий.

Универсальной процедуры оценки устойчивости нет. Практически часто находят дисперсию отклика модели Y по нескольким компонентам и проверяют, увеличивается ли она с ростом интервала моделирования. Если увеличения дисперсии отклика не наблюдается, результаты имитации считают устойчивыми.

Важная практическая рекомендация: чем ближе структура модели к структуре реальной системы и чем выше степень детализации учитываемых в модели факторов, тем шире область устойчивости (пригодности) результатов имитации.

Г). Исследование чувствительности модели. На этом этапе имеются два направления работ:

- установление диапазона изменения отклика модели при варьировании каждого параметра;
- проверка зависимости отклика модели от изменения параметров внешней среды.

В зависимости от диапазона изменения откликов Y при изменении каждой компоненты вектора параметров X определяется стратегия планирования экспериментов на модели.

Если при значительной амплитуде изменения некоторого компонента вектора параметров модели отклик меняется незначительно, то точность представления ее в модели не играет существенной роли.

Проверка зависимости отклика модели Y от изменений параметров внешней среды основана на расчете соответствующих частных производных и их анализе.

Таким образом, рассмотренные вопросы по имитационному моделированию позволяют начинающему исследователю применять данный современный метод в своих исследованиях.

7 МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

7.1 Основные положения теории прогнозирования

Владение методами анализа и прогнозирования экономических эффектов и последствий реализуемой и планируемой деятельности имеет большое значение при планировании и проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Прогнозная оценка развития анализируемых процессов или явлений являются основой принятия управленческих решений при оперативном, тактическом и стратегическом планировании в различных отраслях экономики. Очевидно также, что точность и надежность прогноза определяет эффективность реализации различных операций и функций – от оценки вероятности дефицита продукции на складе до выбора стратегии развития фирмы.

Прогноз – вероятностное научно обоснованное суждение о перспективах, возможных состояниях того или иного явления в будущем и (или) об альтернативных путях и сроках их осуществления.

В узком смысле прогноз выполняется при условии, что основные факторы, определяющие развитие прогнозируемого процесса или явления, не претерпят существенных изменений.

Классификация прогнозов

1. По масштабности, отражающей количество значащих переменных в описании объекта.
2. По сложности, характеризующей степень взаимосвязи переменных.
3. По степени детерминированности или стохастичности переменных.
4. По информационной обеспеченности периода прогнозирования.
 - А) краткосрочный прогноз – до 1 года;
 - Б) среднесрочный – до 5 лет;

В) долгосрочный – свыше 5 лет.

Теория прогнозирования включает:

- анализ объекта прогнозирования;
- методы прогнозирования (математические, экспертные);
- системы прогнозирования.

Анализ объекта прогнозирования – расчленение или разложение объекта и предмета прогнозирования на составляющие.

Методология прогнозирования – область знаний о методах прогнозирования.

Метод прогнозирования – систематизированная совокупность методик выполнения прогностических операций, получение и обработка информации о будущем.

Методика прогнозирования – это алгоритм, совокупность действий в определенной последовательности, способов, приемов исследования объекта, направленный на разработку его прогноза.

Система прогнозирования – упорядоченная совокупность методик и средств реализации.

С научной точки зрения большую ценность имеют математические методы прогнозирования.

Математические методы прогнозирования.

1. *Симплексные (простые) методы* экстраполяции по временным рядам. Экстраполяция – распространение выводов, сделанных на основе настоящих и (или) прошлых состояний явления или процесса на их будущее (предполагаемое) состояние. Сущность экстраполяции заключается в изучении сложившихся в прошлом и настоящем устойчивых тенденций развития объекта прогноза и в переносе их на будущее.

2. *Статистические методы*, включающие корреляционный и регрессионный анализ и др. (рассмотрены в предыдущих разделах).

3. *Комбинированные методы*, представляющие собой синтез различных вариантов прогнозов.

Типы прогнозов.

При формировании методики прогнозирования целесообразно рассматривать прогноз в узком (*первый тип* прогноза) и в широком смысле (*второй тип* прогноза).

1. *Прогноз первого типа (прогноз в узком смысле)* осуществляются с применением симплексных или статистических методов на основе временных рядов. Число значимых переменных включают от одного до трех параметров, т.е. по масштабности они относятся к сублокальным прогнозам. По степени информационной обеспеченности прогнозы этого типа могут быть отнесены к объектам с полным информационным обеспечением.

Этот тип подразделяется на прогнозы:

- простые с использованием одного параметра, например, времени;
- сложные с использованием двух-трех взаимосвязанных параметров.

2. *Прогноз второго типа (прогноз в широком смысле)* подразумевает, что исходные данные для получения оценок определяются с использованием опережающих методов прогнозирования: патентного, публикационного и др.

Как правило, данный тип используются для долгосрочного прогнозирования и разбиваются на два этапа:

- первый этап это получение прогнозных оценок основных факторов;
- второй этап собственно прогноз развития процесса или явления.

Наибольшее распространение получили методы прогнозирования первого типа. Наиболее часто для прогнозирования первого типа используется метод экстраполяции.

В общем случае модель прогноза включает три составляющие (рисунок 6.1) и записывается в следующем виде:

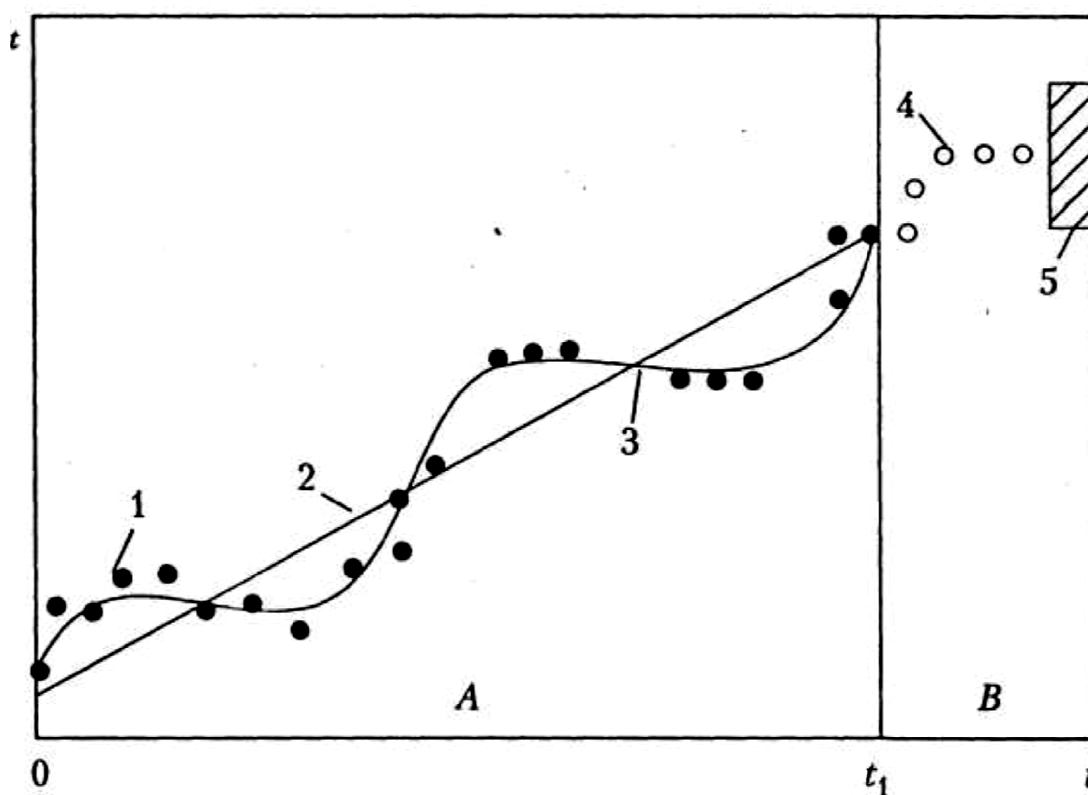
$$y_t = \bar{y}_t + v_t + \varepsilon_t, \quad (7.1)$$

где y_t - прогнозные значения временного ряда;

\bar{y}_t - среднее значение прогноза (тренд);

v_t - составляющая, отражающая сезонные колебания (сезонная волна);

ε_t - случайная величина отклонения прогноза.



1 – экспериментальные данные на интервале наблюдения (A);
 2 – тренд; 3 – тренд и сезонная волна; 4 – значение точечного прогноза на интервале упреждения (B); 5 – интервальный прогноз.

Рисунок 7.1 – Прогнозирование на основе временных рядов.

При этом может быть предложена следующая последовательность расчета:

1. На основе значений временного ряда на предпрогнозном периоде (интервале наблюдения) с использованием метода наименьших квадратов определяются коэффициенты уравнения тренда \bar{y}_t , видом которого задаются.

Обычно для описания тренда используются полиномы различных порядков, экспоненциальные, степенные функции и т.п.

2. Для исследования сезонной волны значения тренда исключаются из исходного временного ряда. При наличии сезонной волны определяют коэффициенты уравнения, выбранного для аппроксимации V_t .

3. Случайные величины отклонения ε_t определяются после исключения из временного ряда значений тренда и сезонной волны на предпрогножном периоде. Как правило, для описания случайной величины ε_t используется нормальный закон распределения.

4. Для повышения точности прогноза применяются различные методы (дисконтирование, адаптация и др.). Наибольшее распространение в практике расчетов получил метод экспоненциального сглаживания, позволяющий повысить значимость последних уровней временного ряда по сравнению с начальными уровнями.

7.2 Применение методов прогнозирования для решения прикладных задач

Рассмотрим применение методов прогнозирования на основе данных расхода запчастей на складе. В таблице 7.1 приведены три варианта реализации текущего расхода. Для каждой реализации даны величины расхода за день и интегральные характеристики, представляющие собой расход деталей со склада за соответствующий цикл.

Рассмотрим возможные варианты прогнозов для одной реализации и для ансамбля из трех реализаций.

Воспользуемся первой реализацией.

Допустим, что нам известны значения расхода деталей со склада за пять дней работы. Выберем уравнение тренда \bar{y}_t в виде линейной зависимости:

$$y_t = a_0 + a_1 t, \quad (7.2)$$

Таблица 7.1 – Динамика спроса в течение трех циклов расхода запасов

1-й цикл			2-й цикл			3-й цикл		
День	Спрос, ед.	Всего с начала цикла, ед.	День	Спрос, ед.	Всего с начала цикла, ед.	День	Спрос, ед.	Всего с начала цикла, ед.
1	9	9	11	0	0	21	5	5
2	2	11	12	6	6	22	5	10
3	1	12	13	5	11	23	4	14
4	3	15	14	7	18	24	3	17
5	7	22	15	10	28	25	4	21
6	5	27	16	7	35	26	1	22
7	4	31	17	6	41	27	2	24
8	8	39	18	9	50	28	8	32
9	6	50	19	*	50	29	3	35
10	5	*	20	*	50	30	4	39

Расчет коэффициентов уравнения a_0 и a_1 производится по формулам:

$$a_0 = \frac{\sum y_i \sum t_i^2 - \sum t_i \sum y_i t_i}{N \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}, \quad (7.3)$$

$$a_1 = \frac{n \sum y_i t_i - \sum y_i \sum t_i}{n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}. \quad (7.4)$$

Формулы (7.3) и (7.4) получены на основе метода наименьших квадратов. Входящие в формулы значения сумм рассчитаны в таблице 7.2.

Подставляя значения исходных данных (таблица 7.2) и результатов предварительных расчета уравнения, находим:

$$a_0 = 45,2; \quad a_1 = -3,0.$$

Таблица 7.2 – Исходные данные и результаты расчета уравнения (7.2) за пять дней работы, т.е $n=5$.

t_i дн.	y_i ед.	t_i^2	$y_i t_i$	Прогноз y_i^*	$(y_i - y_i^*)^2$
1	41	1	41	42	1
2	39	4	78	39	0
3	38	9	114	36	4
4	35	16	140	33	4
5	28	25	140	30	4
Суммы $\sum t_i = 15$	$\sum y_i = 181$	$\sum t_i^2 = 55$	$\sum y_i t_i = 513$		$\sum (y_i - y_i^*)^2 = 13$

Таким образом, уравнение прогноза запишется в следующем виде:

$$y_t = 45,2 - 3,0t \quad (7.5)$$

Для оценки границ интервального прогноза необходимо рассчитать среднее квадратичное отклонение:

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (7.6)$$

Подставляя расчетные значения из таблицы 7.2 в формулу (7.6), находим $\sigma_t = 1,8$.

На основании полученных зависимостей y_t и σ_t рассчитываются *прогнозные оценки*:

- среднего времени расхода текущего запаса \bar{T} ;
- страхового запаса Y_C с заданной доверительной вероятностью P_δ ;
- вероятности отсутствия дефицита деталей на складе в течение прогнозируемого периода.

Приняв $y_t = 0$, находим:
$$\bar{T} = \frac{-a_0}{a_1} = \frac{-45,2}{-3,0} = 15 \text{ дней}.$$

Для расчета страхового запаса согласно формулы (5.10) воспользуемся формулой:

$$\acute{o}_{\tilde{n}} = \sigma_t \cdot t, \quad (7.7)$$

где σ_t – среднее квадратичное отклонение;

t – параметр нормального закона распределения (нормированный коэффициент ошибки), соответствующий доверительной вероятности P_δ .

Параметр t определяет для нормального закона число средних квадратических отклонений, которые нужно отложить от центра рассеивания (влево и вправо) для того, чтобы вероятность попадания в полученный участок была равна P_δ .

В нашем случае доверительные интервалы откладываются вверх и вниз от среднего значения Y_t .

В таблице 7.3 приведены наиболее часто встречающиеся в практических расчетах значения вероятности P_δ и параметра t для нормального закона распределения.

Таблица 7.3 – Доверительная вероятность P_δ и параметр t нормального закона распределения

t	P_δ	t	P_δ	t	P_δ
0,20	0,1585	1,10	0,7287	1,75	0,9199
0,30	0,2357	1,20	0,7699	1,80	0,9281
0,40	0,3108	1,30	0,8064	1,85	0,9357
0,50	0,3829	1,40	0,8385	1,90	0,9426
0,60	0,4515	1,50	0,8664	1,95	0,9488
0,70	0,5161	1,55	0,8789	2,00	0,9545
0,80	0,5763	1,60	0,8904	2,25	0,9756
0,90	0,6319	1,65	0,9011	2,50	0,9876
1,00	0,6827	1,70	0,9109	3,00	0,9973

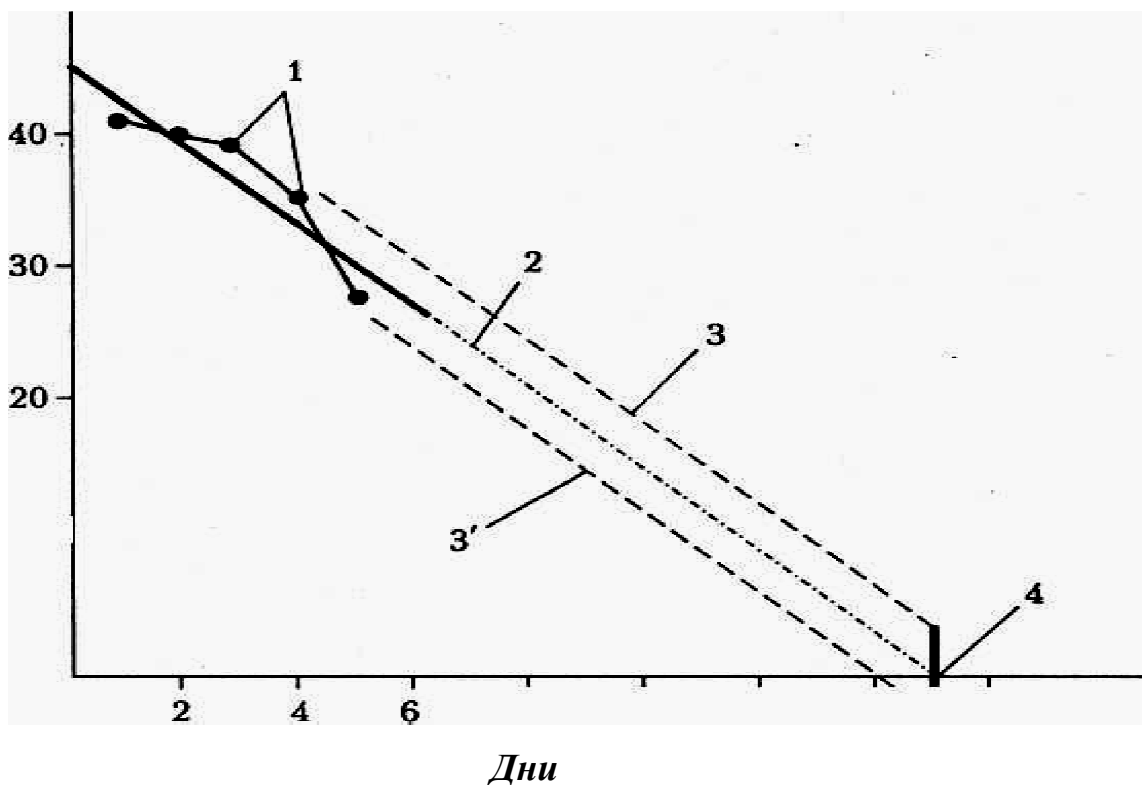
Для рассматриваемого примера для доверительной вероятности $P_d=0,9$ по таблице 7.3 находим $t = 1,65$ и по формуле (7.7) величину страхового запаса:

$$y_c = 1,8 \cdot 1,65 = 2,97 .$$

Примем $y_c = 3,0$.

На рисунке 7.2 приведены границы интервального прогноза при $P_d=0,9$.

у. ед.



1 - исходные данные; 2 - уравнение тренда; 3,3' - границы интервального прогноза; 4 - время расхода запаса \bar{T}

Рисунок 2.1 – Прогноз текущего расхода деталей на складе ($n = 5$).

Для учета возможных нарушений срока поставки необходимо оценить влияние задержки, связанной с выполнением заказа, в частности с транспортировкой.

По одной реализации невозможно оценить вероятностный характер длительности функциональных циклов поставки. Однако можно предположить, что выявленная тенденция расхода запаса, формула (7.2), сохранится.

В этом случае для оценки прогнозной величины страхового запаса можно воспользоваться формулой:

$$y_C^* = |a_1| \tau + P_{\ddot{a}} \sigma_t, \quad (7.8)$$

где τ - параметр, характеризующий количество дней задержки поставки заказа.

Рассчитаем величину страхового запаса при условии задержки на один день по сравнению с прогнозной оценкой $\bar{T} = 15$ дней, т.е. на 16-й день.

По формуле (7.8) находим:

$$y_C^* = |-3,0| \cdot 1,0 + 1,643 \cdot 1,8 = 6,0 \text{ ää}.$$

Аналогично при $\tau = 2$ (17-й день) $y_C^* = 9,0 \text{ ää}$.

Допустим, что отклонения ежедневного расхода деталей от среднего значения (тренда) подчиняются нормальному закону распределения.

Определим вероятность отсутствия дефицита по формуле:

$$P(y) = 1 - F(y) = 1 - \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y e^{-\frac{(y-y_t)^2}{2\sigma^2}} dy, \quad (7.9)$$

Где y_t - уравнение тренда, формула (7.2);

σ - среднее квадратическое отклонение, формула (7.6).

Сделаем в интеграле замену переменной:

$$\frac{y - y_t}{\sigma} = x, \quad (7.10)$$

и приведем уравнение (7.9) к следующему виду:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{y-y_t}{\sigma}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx. \quad (7.11)$$

Для расчетов данного интеграла можно воспользоваться численными методами и ЭВМ или специальными таблицами.

Для нормальной плотности распределения функции распределения с параметрами $m_x = 0$ и $\sigma_x = 1$, запишется в следующем виде:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (7.12)$$

Очевидно, что:
$$F(y) = \Phi\left(\frac{y - y_t}{\sigma}\right).$$

В таблице 7.4 приведен ряд значений функции $\Phi(x)$ и $P(x)$.

Таблица 7.4 – Значения нормальной функции распределения $\Phi(x)$, вероятности $P(x)$ и параметра x

x	$\Phi(x)$	$P(x)$	x	$\Phi(x)$	$P(x)$
0,00	0,50	0,50	-1,280	0,10	0,90
-0,125	0,45	0,55	-1,405	0,08	0,92
-0,253	0,40	0,60	-1,555	0,06	0,94
-0,385	0,35	0,65	-1,645	0,05	0,95
-0,525	0,30	0,70	-1,75	0,04	0,96
-0,675	0,25	0,75	-2,05	0,02	0,98
-0,842	0,20	0,80	-2,30	0,01	0,99
-1,037	0,15	0,85	-3,10	0,001	0,999

Между параметрами и x , а также t и $\Phi(x)$ существует соотношение:

$$2\hat{O}(x) - 1 = t. \quad (7.13)$$

На рисунке 7.2 приведен график плотности нормального распределения. На рисунке 7.3 представлен график функции нормального распределения и плотности.

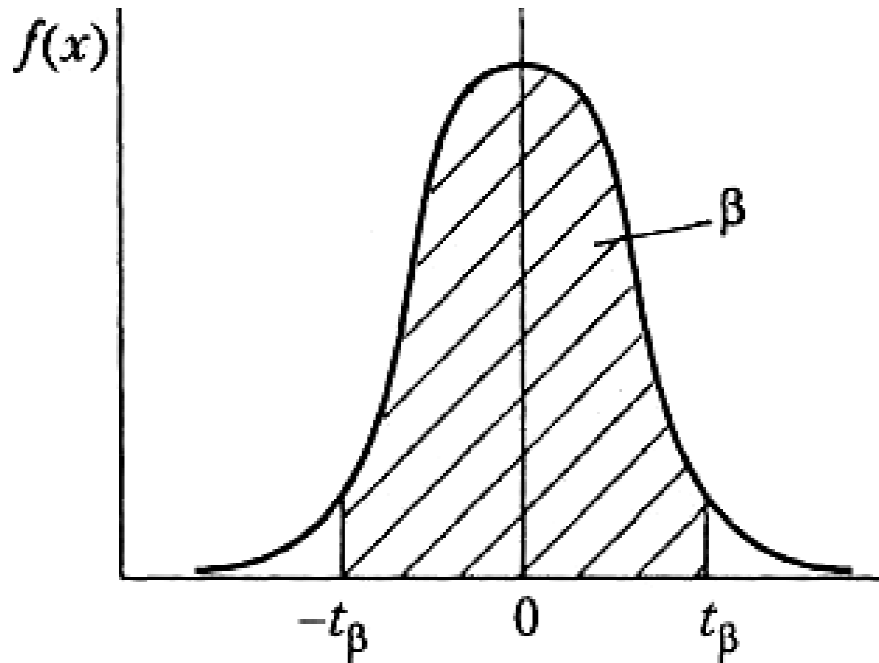


Рисунок 7.2 – Плотность нормального распределения.

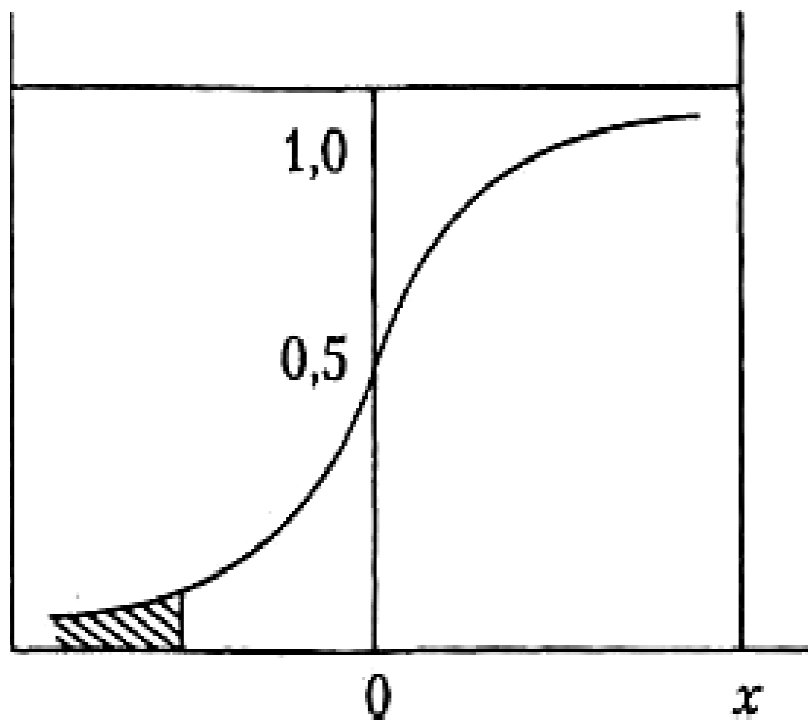


Рисунок 7.3 – Функция нормального распределения.

Появление дефицита означает, что текущая величина запаса на складе равна нулю, т.е. $y = 0$.

Для определения вероятности отсутствия дефицита необходимо:

- по формуле (7.10) рассчитать $x = \frac{-y_t}{\sigma}$;
- по таблице 7.4 с помощью x найти $P(x)$.

Для рассматриваемого примера рассчитаем вероятности отсутствия дефицита деталей на складе на 13-й, 14-й и 15-й дни.

Для $T = 13$ получаем: $y = 45.2 - 3.0 = 6.2$; $x = -6.2/1.8 = -3.44$.

По таблице 7.4 находим $P > 0,999$, т.е. вероятность дефицита ничтожно мала.

Для $T = 14$ получаем: $y = 3.2$; $x = -1.78$; $P \approx 0.95$.

Для $T = 15$ получаем: $P \approx 0.5$.

Определим ошибку прогноза среднего времени T , поскольку имеются реальные данные о текущем расходе в таблице 7.1.

$$\Delta T = \left| \frac{T_{\phi} - T_{\Pi}}{T_{\Pi}} \right| \cdot 100\%, \quad (7.13)$$

где T_{ϕ}, T_{Π} – соответственно фактическая и прогнозная продолжительность цикла.

Подставив значения в (7.13), находим:

$$\Delta T = \left| \frac{10 - 15}{10} \right| \cdot 100\% = 50\%.$$

Ошибка прогноза велика, но это закономерно, так как нарушено одно из эмпирических правил экстраполяционного прогнозирования: *между предпрогноznым периодом t и периодом упреждения (прогноза) $\tau = T - t$ должно соблюдаться соотношение:*

$$\frac{t}{T - t} = 3. \quad (7.14)$$

Если следовать соотношению (2.13), то при $t = 5$ допустимая величина времени прогноза:

$$T = \frac{4}{3} t. \quad (7.15)$$

Следовательно, величина надежного прогноза соответствует $T \approx 7$ дней и период упреждения составляет $\tau = 2$ дня.

Рассмотрим ансамбль из трех реализаций расхода деталей на складе.

Как и в предыдущем примере, допустим, что информация ограничена семью (7) днями.

Рассчитаем средние значения и дисперсии для каждого дня прогнозного периода по формулам:

$$\bar{m}_j = \frac{\sum_{i=1}^n m_{ij}}{n}; \quad (7.16)$$

$$D_j = \sum_{i=1}^n \frac{(m_{ij} - \bar{m}_j)^2}{n-1}. \quad (7.17)$$

$$\bar{m}_j = \frac{41 + 50 + 45}{3} = 45.3;$$

$$D_j = \frac{(41 - 45.3)^2 + (50 - 45.3)^2 + (45 - 45.3)^2}{3 - 1} = 19.9.$$

Результаты расчетов приведены в таблице 7.5, а графическое изображение на рисунке 7.3.

Таблица 7.5 – Результаты расчета средних значений и дисперсии для каждого дня прогнозного периода

t_i	y_{1i}	y_{2i}	y_{3i}	\bar{m}_{yi}	$(m_y - y_{1i})^2$	$(m_y - y_{2i})^2$	$(m_y - y_{3i})^2$	$\sum \frac{(m_y - y_{ji})^2}{n-1}$	σ_i
1	41	50	45	45,3	17,64	22,09	0,09	19,91	4,46
2	39	44	40	41,0	4,0	9,00	1,0	7,0	2,64
3	38	39	36	37,7	0,09	1,69	2,89	2,33	1,52
4	35	32	33	33,3	2,89	1,69	0,09	2,33	1,52
5	28	22	29	26,3	2,89	18,49	7,29	14,33	3,79
6	23	15	28	22,0	1,0	49,0	36	43	6,55
7	19	9	26	18,0	1,0	81,0	64	73	8,54
Суммы								161,9	

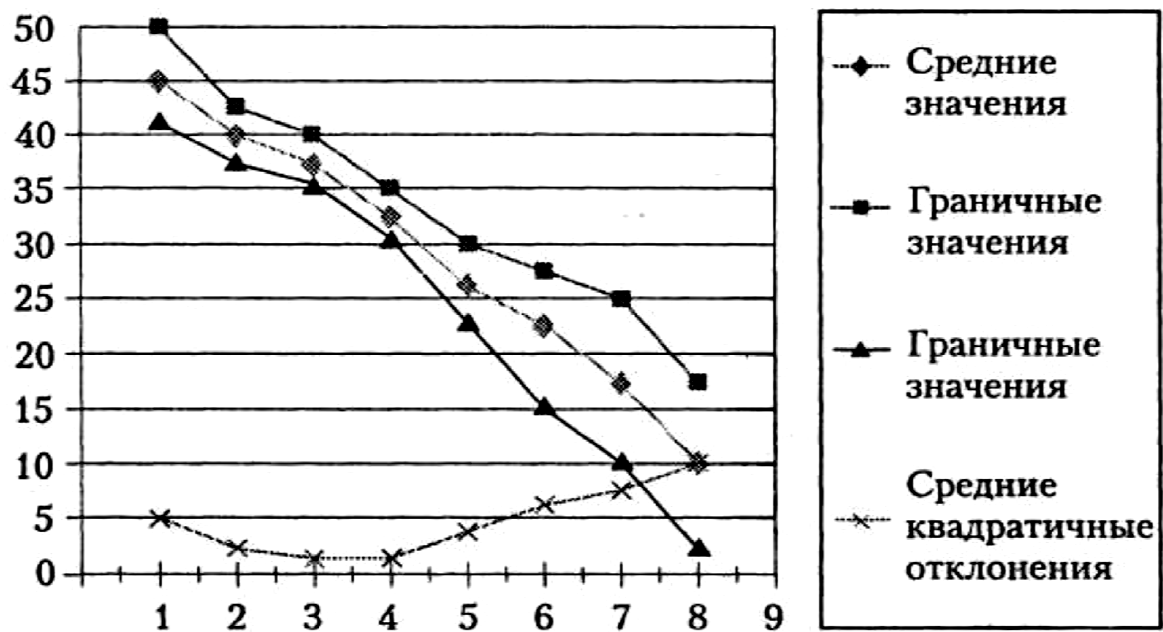


Рисунок 7.3 – Зависимость средних значений и средних квадратических отклонений от времени для трех реализаций

Для аппроксимации средних значений $m(t)$ выберем линейную зависимость:

$$m(t) = b_0 + b_1 t. \quad (7.18)$$

Воспользовавшись методом наименьших квадратов, найдем коэффициенты b_0 и b_1 .

Спрогнозируем среднюю величину времени расхода запаса:

$$\bar{T} = \frac{-b_0}{b_1} = \frac{-51.6}{-4.92} = 10,49 \text{ ай}.$$

Зависимости $D(t)$ и $\sigma(t)$ имеют явно нелинейный характер и для точных прогнозов они могут быть аппроксимированы полиномами различных порядков, например в виде параболы:

$$\sigma(t) = c_0 + c_1 t + c_2 t^2. \quad (7.19)$$

В первом приближении ограничимся средними значениями дисперсии и среднего квадратического отклонения σ , которое рассчитывается по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum D_j}{n}} = \sqrt{\frac{\sum \sum (m_y - y_y)^2}{n}}. \quad (7.20)$$

При подстановке значений из таблицы 7.5 находим: $\sigma = \sqrt{\frac{161,1}{7}} = 4,81$.

Рассчитаем величину страхового запаса.

В первом случае расчет производится по формуле (7.7). Например, при $t = 0.95$ находим:

$$y_c = 4.81 \cdot 1.96 = 9.42 \approx 9.$$

Во втором случае расчет Y_c производится по формуле (7.8).

Особенность расчета для ансамбля реализаций состоит в том, что имеется возможность оценки величины $\bar{\tau}$ – среднего количества дней, в которые наблюдается дефицит деталей.

В общем случае $\bar{\tau}$ можно рассчитать по формуле:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum t_i n_i}{\sum n_i}, \quad (7.21)$$

где t_i - число дней дефицита в i -й реализации, $t_i = 0, 1, 2, \dots$;

n_i - количество i -х реализаций.

Например, в рассматриваемом примере в первой реализации ($i=1$) не наблюдается дефицита, т.е. $t_1 = 0$; у второй ($i=2$) - два дня дефицита $t_i = 2$; а у третьей ($i=3$) нет дефицита.

Тогда по формуле (7.21):

$$\bar{\tau} = \frac{0 \cdot 2 + 2 \cdot 1}{3} = 0.66.$$

При подстановке в (7.8) находим:

$$y_c = |4.92| \cdot 0.66 + 1.96 \cdot 4.81 = 3.24 + 9.42 = 12.66$$

В заключение следует отметить следующие замечания:

1. Рассчитанные величины среднего запаса получены при условии, что наблюдающая величина дефицита и вариация ежедневного расхода – независимые величины. Несомненно, это допущение требует проверки.

2. При наличии большого количества реализаций расчет величины $\bar{\tau}$ должен быть выполнен до проведения прогнозных расчетов.

Проверка формул (7.8) и (7.21) может быть осуществлена с использованием имитационного моделирования.

Рассмотренные основные положения имитационного моделирования помогут начинающему исследователю использовать данный перспективный и продуктивный метод в своих исследованиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нуруллин Э.Г. Пневмомеханические шелушители (теория, конструкция, расчет) – Казань: Изд-во Казанского университета, 2011. – С. 253
2. Основы научных исследований: Учеб. для техн. вузов / В. И. Крутов, И.М. Грушко, В.В. Попов и др.; Под ред. В. И. Крутова, В.В. Попова. – М.: Высш. шк., 1989. – 400 с.
3. Шкляр М. Ф. Основы научных исследований: Учебное пособие/М. Ф. Шкляр. – 3-е изд. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2009. – 244 с.
4. Нуруллин Э.Г. Моделирование пневмомеханического шелушения зерна крупяных культур / Э.Г. Нуруллин, И.В. Маланичев. – Казань: Казанский гос. университет, 2009. – С.184.
5. Нуруллин Э. Г., Салахов И. М. Пневмомеханический протравливатель семян. Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2015. 136 с.
6. Нуруллин Э.Г. Пневмомеханическое шелушение зерна крупяных культур. – Казань: Изд-во Казанского университета, 2004. – С. 204.
7. Нуруллин Э.Г. Разработка основ теории и машин пневмомеханического шелушения зерна крупяных культур: дисс. док. техн. наук : 05.20.01 / Нуруллин Эльмас Габбасович; [Место защиты: Казанский гос сельхоз. академия] – Казань, 2005. – 391 с.
8. Нуруллин Э.Г., Еров Ю.В. и др. Инновации в послеуборочной обработке зерна и семян. – Казань: Слово. – 2009. 104 с.
9. Нуруллин Э. Г., Халиуллин Д.Т. Пневмомеханический обрушиватель семян подсолнечника – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2014. – 200 с.
10. Интернет-ресурсы – базы данных, информационно-справочные и поисковые системы ([www. rambler.ru](http://www.rambler.ru) www. yandex.ru).

Подписано в печать 1.10.2014.

Бумага офсетная. Печать ризографическая.

Формат 60x84 1/16. Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л. 12,5. Тираж 1000 экз.

Заказ № 11

Отпечатано в типографии

Казанского государственного аграрного университета

420015 Казань, ул. К. Маркса, 65