

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Задорожная Людмила Ивановна
Должность: Проректор по учебной работе
Дата подписания: 28.10.2025 14:31:36
Уникальный программный ключ:
faa404d1aeb2a023b5f4a331ee5ddc540496512d

Р.Б. Кохужева

ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

КУРС ЛЕКЦИЙ

Учебное пособие

Майкоп - 2017

УДК 001.89(07)
ББК 72.3
К-75

Печатается по решению научно-технического совета Майкопского государственного технологического университета

Рецензент:

Меретуков М.А., кандидат технических наук, доцент

Кохужева, Римма Батырбиевна.

К-75 Основы научных исследований. Курс лекций: учебное пособие / Р.Б. Кохужева. - Майкоп: Изд-во «ИП Кучеренко В.О.», 2017. – 142 с.
ISBN 978-5-906696-95-3

Учебное пособие содержит курс лекций по дисциплине «Основы научных исследований».

Изложены основы методологии научного исследования, рассмотрены различные уровни научного познания. Освещены этапы проведения научно-исследовательских работ, включая выбор направления исследования, постановку научно-технической проблемы, проведение теоретических и экспериментальных исследований. Предназначено для систематизации и углубления знаний студентов в ходе подготовки к промежуточной аттестации.

Пособие предназначено для студентов очной и заочной формы обучения по направлению подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов.

ISBN 978-5-906696-95-3



УДК 001.89(07)
ББК 72.3

© Кохужева Р.Б., 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1 Основные понятия и определения учебного курса «Основы научных исследований»	7
1.1 Понятия о науке и научных исследованиях.....	7
1.2 Характерные черты современной науки	18
1.3 Классификация научных исследований	20
1.4 Системный подход при исследовании проблем технической эксплуатации автомобилей	23
1.5 Методы научного исследования при технической эксплуатации автомобилей.....	31
1.6 Планирование научного исследования	36
1.7 Прогнозирование научного исследования	41
1.8 Выбор темы научного исследования.....	51
1.9 Техничко-экономическое обоснование темы научного исследования.....	54
1.10 Этапы научного исследования	57
1.11 Основные цели и подходы научного исследования, сущность пассивного и активного эксперимента.....	63
1.12 Вопросы для самоподготовки	67
2 Применение закономерностей рассеяния непрерывных случайных величин при проведении исследований эксплуатационной надёжности автомобилей и других показателей их работы на автотранспортных предприятиях	68
2.1 Случайные величины и возможности обработки экспериментальных данных на их основе.....	68
2.2 Обработка случайных величин, связанных с рассеянием изучаемого показателя, на примере изучения долговечности автомобильных деталей, узлов и агрегатов	70
2.3 Графическая интерпретация случайных величин и построение гистограмм.....	85
2.4 Законы распределения случайных величин.....	92
2.5 Проверка соответствия закона распределения эмпирическим данным на основе критерия согласия Пирсона	104

2.6	Понятие доверительного интервала и доверительной вероятности при статистической оценке характеристик рассеяния случайных величин.....	105
2.7	Вопросы для самоподготовки	114
3	Моделирование в научных исследованиях.....	116
3.1	Принципы математического моделирования	116
3.2	Этапы математического моделирования.....	120
3.3	Методы моделирования технологических процессов технической эксплуатации автомобилей	123
3.4	Вопросы для самоподготовки	128
4	Информационное обеспечение научного исследования	129
4.1	Печатная информация.....	129
4.2	Научно-техническая патентная информация.....	131
4.3	Поиск и сбор научной информации	133
4.4	Изучение научной литературы.....	137
4.5	Вопросы для самоподготовки	139
	Библиографический список	141

Введение

Наука – сфера человеческой деятельности, направленной на получение объективных знаний о действительности. Понятие "наука" включает как деятельность по получению нового знания, так и ее результат – сумму знаний, лежащих в основе научной картины мира.

Непосредственными целями научной деятельности являются описание, объяснение и предсказание процессов и явлений действительности, составляющих предмет ее изучения на основе открываемых ею законов.

Классификация наук – это раскрытие их взаимной связи на основании определенных принципов и выражение этих связей в виде логически обоснованного ряда. Проблема классификации наук – проблема структуры всего научного знания. Чтобы правильно показать современное состояние, а тем более тенденции развития науки, необходимо взглянуть на нее с исторической точки зрения. Знание истории развития науки и техники – важный компонент образования.

Система научного знания условно делится на естественные, технические и общественные (гуманитарные и социально-экономические, философия) науки.

Технические науки – сфера профессиональной деятельности бакалавра – это специфическая система знания о целенаправленном преобразовании природных тел и процессов в технические объекты, о методах конструктивно-технической деятельности, а также о способах функционирования технических объектов в системе общественного производства.

Для читателя не составит труда указать в каждом из перечисленных разделов научного знания ряд конкретных наук. Например, математика, физика, химия, биология, медицина – естественные науки; материаловедение, теория машин и механизмов, техническая эксплуатация автомобилей – технические науки; история, психология, экономика – общественные науки. Среди каждой из перечисленных наук можно выделить ряд частных

наук. Основные современные тенденции классификации наук заключаются в переходе от дифференциации наук к их интеграции.

Действенным инструментом управления развитием науки является финансирование и материальное обеспечение научных исследований. До недавних пор финансы и материальные ресурсы предназначались в первую очередь для наиболее важных и перспективных направлений научно-технического прогресса.

Основной задачей данной дисциплины является освоение студентами общих методов, применяемых при научных исследованиях в различных областях знания. Эти методы рассмотрены в главе 1 и иллюстрированы примерами. Таким образом, при рассмотрении примеров важен не результат, а способ его получения.

В главах 2 - 4 подробно рассмотрен ряд частных методов научных исследований, которые весьма часто встречаются при практической деятельности бакалавра

Кроме этого, курс нацелен на расширение научного кругозора и тренировку сообразительности и творческого мышления студентов – необходимых компонентов научного познания.

1 Основные понятия и определения учебного курса «Основы научных исследований»

1.1 Понятия о науке и научных исследованиях

Наука – это целостная социальная система, объединяющая в себе постоянно развивающийся набор научных знаний об объективных законах природы, научную деятельность людей, направленную на создание и развитие этой системы, и учреждения, обеспечивающие научную деятельность (рис. 1.1).

Наука – это, прежде всего, познавательная деятельность, направленная на получение новых знаний.

Основные признаки научного знания: предметность, системность, определённости, логическая доказательность, однозначность, точность, возможность проверки полученных результатов, теоретическая и эмпирическая обоснованность, возможность практического использования.

Термин «знание» употребляется в трёх основных смыслах:

- способности, умения, навыки, которые базируются на осведомлённости, как что-то сделать или выполнить;
- любая познавательная значимая информация;
- особая познавательная единица, существующая в взаимосвязи с практикой.

Необходимо отметить, что существующие на практике понятия «истинное знание» и «знание» не являются тождественными, поскольку последнее может быть недоказанным или непроверенным (гипотезы), или неистинным знанием (заблуждением).

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.



a



б

Рис. 1.1. Наука и ее составные части (*a*) и блок-схема основных целей и подходов научного исследования (*б*)

Знание является продуктом общественной деятельности людей, направленной на преобразование действительности. Процесс движения человеческой мысли от незнания к знанию называют *познанием*, в основе которого лежит отражение объективной действительности в сознании человека в процессе его общественной, производственной и научной деятельности, именуемой *практикой*. Потребности практики выступают основной и движущей силой развития познания, его целью.

Различают относительное и абсолютное научное знание. *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.

Различают два уровня познания: чувственный и рациональный. Чувственное познание формирует эмпирическое знание, а рациональное – теоретическое.

Чувственное познание обеспечивает непосредственную связь человека с окружающей действительностью. Элементами чувственного познания являются ощущение, восприятие, представление и воображение.

Ощущение – это отражения мозгом человека свойств предметов или явлений объективного мира, которые действуют на его органы чувств. *Восприятие* – отражения мозгом человека предметов или явлений в целом, причем таких, которые действуют на органы чувств в данный момент времени. Восприятие – это первичный чувственный образ предмета или явления.

Представление – вторичный образ предмета или явления, которые в данный момент времени не действуют на органы чувств человека, но обязательно действовали в прошлом. *Воображение* –

это соединение и преобразование различных представлений в целостную картину новых образов.

Рациональное познание дополняет и опережает чувственное, способствует осознанию сущности процессов, вскрывает закономерности развития. Формой рационального познания является абстрактное мышление.

Мышление – это опосредованное и обобщенное отражение в мозгу человека существенных свойств, причинных отношений и закономерных связей между объектами или явлениями. Мышление неразрывно связано с языком.

Основной инструмент мышления – логические рассуждения, структурными элементами которого являются понятия, суждения, умозаключения.

Понятие – это мысль, отражающая существенные и необходимые признаки предмета или явления. Понятия могут быть общими, единичными, собирательными, абстрактными и конкретными, абсолютными и относительными.

Общие понятия связаны не с одним, а с множеством предметов. Наиболее широкие понятия называются категориями. *Единичные* понятия относятся только к одному определенному предмету. Под *собирательными* подразумеваются понятия, обозначающие целые группы однородных предметов, представляющих собой известное единство, законченную совокупность (лес, транспортный поток и т.п.).

Суждение – это мысль, в которой посредством связи принятых понятий утверждается или отрицается что-либо. В речи суждение выражается в виде предложения. Суждение – это сопоставление понятий, устанавливающих объективную связь между мыслимыми предметами и их признаками или между предметом и классом предметов.

Умозаключение – процесс мышления, составляющий последовательность двух или нескольких суждений, в результате

которых выводится новое суждение. Умозаключения делятся на две категории: дедуктивные и индуктивные.

Дедуктивные умозаключения представляют собой выведение частного случая из какого-либо общего положения. В *индуктивных* умозаключениях на основании частных случаев приходят к общему положению.

В процессе научного исследования следует выделить следующие этапы: возникновение идей; формирование понятий, суждений; выдвижение гипотез; обобщение научных фактов; доказательство правильности гипотез и суждений.

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 замеченные закономерности. Идея материализуется в гипотезе.

Гипотеза – это предположение о причине, которая вызывает данное следствие. Если гипотеза согласуется с наблюдаемыми фактами, то в науке ее называют *теорией* или *законом*.

Закон – внутренняя существенная связь явлений, обуславливающая их необходимое закономерное развитие. Закон выражает определенную устойчивую связь между явлениями или свойствами материальных объектов.

Теория – система обобщенного знания, объяснения тех или иных сторон действительности. Структуру теории формируют принципы, аксиомы, аконы, суждения, положения, понятия, категории и факты.

Система научных знаний отражена в научных понятиях, гипотезах, законах, научных фактах, теориях, идеях и т. д.

Научная деятельность – творческая деятельность, направленная на получение, освоение, переработку и систематизацию новых научных знаний, а, следовательно, на расширение системы научных знаний.

Следует отметить, что продуктом научной деятельности выступают не только новые научные знания. Для их получения

необходимы новые методы наблюдения и новые эксперименты, а также средства, при помощи которых они осуществляются. К продуктам научной деятельности следует отнести и научный стиль рациональности, который распространяются на все сферы человеческой деятельности. Кроме того, наука является источником нравственных ценностей, поскольку профессиональная деятельность учёного и исследователя предполагает честность и объективность как неотъемлемые элементы профессиональной этики.

Система знаний классифицируется по направлениям:

- отраслям знаний – естественные, общественные и технические науки;
- научным дисциплинам — математика, физика, химия, теория автомобиля, техническая эксплуатация автомобилей и т.д.;
- результатам научной деятельности – публикации, патенты, конструкторские разработки и т. д.

Научная деятельность классифицируется по признакам:

- целевому назначению – развитие теории, разработка новой техники, совершенствование (разработка) технологии и т.д.;
- видам научных работ – фундаментальные, прикладные, разработки;
- диапазону исследовательских работ – направления в науке, научная проблема, научная тема, научный вопрос;
- методу исследования – теоретические, экспериментальные и смешанные.

Научные учреждения обеспечивают нормальное протекание научной деятельности и включают в себя научных сотрудников, средства научной деятельности (оборудование, приборы и т.д.), объекты научной деятельности (автомобили, автотранспортные установки и т. д.), информационные фонды (библиотеки, патентные фонды и т. д.).

Научные учреждения классифицируются по тому признаку, к какой сфере человеческой деятельности в обществе они относятся:

- к непроизводственной сфере (академические институты, НИИ гуманитарного и общенаучного профилей, вузы непроизводственного профиля – медицинские, юридические и т.д.);
- к производственной сфере (отраслевые институты — НИИ, КБ, НПО, технические вузы).

Научные исследования – это творческая деятельность человека, связанная с изучением, анализом и объяснением закономерностей развития окружающей его действительности.

Научные исследования являются способом получения новых знаний. Они могут идти от теории к эксперименту (теоретизм) или от эксперимента к теории (эмпиризм) с последующей практической проверкой (апробацией). Теоретизм – это классический ход научного, когда выдвигается определённая идея (теория), сформированная в недрах научного мышления (детерминизм, дискретность и т.д.), а эмпирический опыт призван быть лишь одним из средств конкретизации исходной теоретической идеи. Эмпиризм начинается с фиксации экспериментальных данных, их последующей обработке и выдвижение на их основе ряда эмпирических гипотез. Далее проводятся обобщение, отбор наиболее доказанной гипотезы на основе её лучшего соответствия выявленным фактам (результатам). Кроме того, научные исследования могут быть связаны с решением какой-то возникшей проблемы (проблематизм). Его наиболее чётко сформулировал Карл Поппер.

При этом схема научного исследования заключается в следующем:

- исходная научная проблема;
- возможные гипотетические варианты её решения;
- элиминация-устранение, выбраковка ошибочных гипотез;
- новая научная проблема.

К теоретическим методам исследования можно отнести формализацию, аксиоматический метод и гипотетико-дедуктивный метод.

Формализация – это отражение приобретённого знания в знаково-символическом виде. Примером формализации может служить применяемая при теоретических исследованиях математическая символика. Она является инструментом в процессе познания и помогает закрепить полученные знания.

Для построения любой формальной системы необходимо:

- 1) задать определённый набор знаков или алфавит;
- 2) задать правила, по которым из исходных знаков можно составить необходимые формулы или слова;
- 3) задать правила, по которым из одних формул или слов можно перейти к другим формулам или словам.

Формализованные системы или объекты позволяют проводить научные исследования без непосредственного обращения к рассматриваемому предмету.

Аксиоматический метод – это один из способов дедуктивного построения научных теорий. В его основе лежит следующая последовательность действий:

- 1) формулируется система основных терминов научного направления;
- 2) на основе выбранных терминов определяется необходимое количество аксиом, принципов, постулатов, т.е. положений, которые не требуют специальных доказательств и которые являются базовыми, поскольку из них в дальнейшем формируются (выводятся) другие теоретические положения. Причём выполняется это тоже по определённым правилам;
- 3) описывается система дополнительных правил и принципов, позволяющая преобразовывать исходные положения и переходить от одних положений формируемой теории к другим, а также при необходимости вводятся новые термины и определения в создаваемую теорию;
- 4) при необходимости выполняется преобразование базовых постулатов и принципов по правилам, дающим возможность из ограниченного их числа получить множество доказанных положений (теорем, лемм и т.д.).

Обычно аксиоматический метод используется только для теоретических систем, которые в общих чертах уже построены.

Гипотетико-дедуктивный метод – это способ, при котором создаётся дедуктивная система связанных между собой гипотез, из которых, в конечном итоге, выводятся утверждения об эмпирических фактах или событиях. Поскольку метод базируется на гипотезах, истинность которых полностью не определена, то все заключения носят вероятностный характер. В основе метода лежит следующая последовательность действий:

1) сначала осуществляется знакомство с фактическим материалом, который требует теоретического объяснения;

2) делаются попытки дать формализованное объяснение с помощью известных теорий и законов;

3) если последнее не удаётся, то формулируются предположения о причинах и закономерностях исследуемого явления, процесса или объекта;

4) далее сформированные предположения оцениваются и из них выбираются наиболее вероятные. При этом каждая гипотеза должна иметь физический смысл и проверяется на логическую непротиворечивость и на совместимость с известными фундаментальными теоретическими научными принципами;

5) из выбранных гипотез выводятся (обычно дедуктивным путём) необходимые следствия;

6) затем сформированные следствия проверяются экспериментально. Наиболее предпочтительная по результатам проверки гипотеза переходит в научную теорию.

Гипотетико-дедуктивный метод представляет собой иерархическую структуру гипотез. На самом верху находятся гипотезы, имеющие наиболее общий характер. Внизу находятся гипотезы, которые можно сопоставить с эмпирической действительностью. Данный метод широко используется при построении физических теорий.

К методам эмпирического исследования наблюдение, измерение, эксперимент.

Наблюдение – целенаправленное и преднамеренное изучение явлений, объектов и процессов без непосредственного вмешательства в их течение, подчинённое задачам научного исследования.

Основные принципы научного наблюдения состоят в следующем:

- однозначность цели или замысла;
- системный подход в методах наблюдения;
- объективность и всесторонность;
- возможность проведения контроля или путём повторного наблюдения, или с помощью специального эксперимента.

Наблюдение применяется обычно там, где вмешательство в исследуемый процесс нежелательно или невозможно.

При проведении наблюдений могут использоваться специальные приборы, поскольку они усиливают органы чувств и снимают субъективизм с оценки изучаемых событий.

Важнейшее место в процессе наблюдения (эксперимента) занимает операция измерения.

Измерение – это определение отношения одной измеряемой величины к другой, эталонной величине, полученной в стандартных условиях, которые специально оговариваются.

Результаты наблюдения обычно интерпретируют в виде различных знаков, графиков, таблиц, диаграмм, и т.д.

Эксперимент – это метод познания, при котором явления, объекты и процессы изучаются в контролируемых и управляемых условиях.

Эксперимент обычно осуществляется по специально разработанной методике на основе созданной теории или выдвинутой гипотезы, которые определяют постановку цели и задач и интерпретацию результатов.

Основные преимущества эксперимента по сравнению с наблюдением заключаются в следующем:

- при проведении эксперимента можно изучать явление, объект или процесс в «чистом» виде;

- в ходе эксперимента могут варьироваться условия протекания процесса;

- эксперимент может многократно повторяться.

Различают несколько видов эксперимента.

1. Качественный эксперимент - простейший вид эксперимента, который устанавливает наличие или отсутствие предлагаемых теорией или гипотезой явлений.

2. Измерительный или количественный эксперимент, устанавливающий численные параметры какого-либо свойства (или свойств) изучаемого явления, объекта или процесса. Это наиболее сложный вид эксперимента, поскольку он связан с измерениями.

3. Мысленный эксперимент, применяемый обычно в фундаментальных науках и заключающийся в мыслительной деятельности исследователя.

4. Социальный эксперимент, осуществляемый в целях внедрения новых форм социальной организации, изучения общественного мнения, оптимизации управления и т.д.

Измерение можно трактовать так же как процесс определения количественных значений тех или иных свойств явления, объекта или процесса при помощи специальных приборов.

Большинство научных экспериментов и наблюдений включают в себя проведение измерений. Результат измерения выражается в виде некоторого числа единиц измерения.

По способу получения результатов различают прямые и косвенные измерения. При проведении прямых измерений контролируемая величина получается путём непосредственного сравнения её с эталоном или же определяется специальным измерительным прибором. При выполнении косвенных измерений искомая величина находится опосредственно, например, через математическую модель, связывающую её с другими величинами, которые определяются в прямых измерениях.

Наблюдение и эксперимент являются источником научных фактов, под которыми в науке понимаются особогорода предложения, фиксирующие эмпирическое знание.

Факты – фундамент науки и научных знаний. Они образуют эмпирическую основу науки, базу для выдвижения гипотез и создания теорий

1.2 Характерные черты современной науки

Современной науке присущи следующие черты:

1. *Связь с производством.* Наука стала непосредственной производительной силой. Около 30 % научных достижений служат производству. В то же время наука работает и на себя (фундаментальные исследования, поисковые работы и т. д.), хотя, как показывает опыт, данное направление развивается недостаточно, особенно в области проблем автомобильного транспорта. В области технической эксплуатации следует уделять больше внимания прогностическим и поисковым работам.

2. *Массовость современной науки.* Наряду с увеличением численности научных учреждений и сотрудников существенно возрастают капитальные вложения в науку, особенно в передовых западных странах. Несмотря на трудности в этом отношении, связанные с переходным периодом к рыночной экономике в жизни России, в бюджетах страны, принимаемых в последнее время, наблюдается устойчивая тенденция увеличения вложений в фундаментальные исследования, имеющие государственное значение.

3. *Дробление, специализация, взаимодействие и взаимопроникновение наук.* На базе фундаментальных наук (философии, математики, экономики, физики, химии и т. д.) образуются специальные научные дисциплины (биофизика, биохимия, теория автомобиля, техническая эксплуатация автомобилей, транспортная логистика и т. д.); они создаются на основе как смежных наук, так и далеких друг от друга научных дисциплин.

4. *Системный подход в изучении объектов исследования.* Исследуемый объект рассматривается как некоторое сложное целое, состоящее из отдельных систем, подсистем и элементов. В

зависимости от цели и задач исследования наблюдатель может изучать свойства объекта как единого целого, так и его составных частей. Причем в целом объект может обладать такими свойствами, которые не присущи в отдельности ни одной из его составляющих.

5. Резкое ускорение темпов научно-технического прогресса (НТП). Наука представляет собой первую фазу НТП и фактически формирует основы для развития процесса в целом. В условиях НТП основные направления научных исследований сводятся к определению момента перехода на новые качественные этапы развития, а также к определению конкретных форм и методов, позволяющих перейти на эти новые этапы развития.

6. Перевод научной деятельности на хозрасчет и самоокупаемость и в ряде случаев непосредственное участие в процессах производственно-коммерческой деятельности.

Научная деятельность в сферах, не связанных непосредственно с интересами государства, должна оправдывать себя в финансовом отношении, становиться прибыльной и рентабельной. В условиях рыночной экономики это является мощным стимулом ускоренного внедрения достижений науки в общественное производство путем создания и широкого распространения новой техники и новых технологий (например, персональный компьютер, синтезирующий достижения многих наук, был создан и продолжает развиваться с нарастающей интенсивностью, прежде всего, для удовлетворения требований рынка – усложнения компьютерных игр).

7. Наличие различных источников финансирования:

- бюджетное финансирование (правительственные, межотраслевые, отраслевые и другие федеральные научно-технические программы, региональный бюджет, бюджет местного самоуправления и т. д.);
- внебюджетное финансирование (целевые средства специальных фондов и др.);
- частное инвестирование юридических лиц на основе льготных налогов, ценообразования, аренды;

- частное инвестирование физическими лицами (личные сбережения, льготные займы и т. п.);
- зарубежное инвестирование (целевые займы мирового банка, Европейского банка реконструкции и развития и др.);
- международная помощь и научно-техническое сотрудничество (помощь ЮНЕСКО в области транспорта, международное научно-техническое сотрудничество, помощь и безвозмездный обмен результатами научных исследований в рамках сотрудничества городов-столиц и др.).

Согласно принятым в последнее время постановлениям продукция научной организации является товаром. Для эффективной деятельности научной организации утверждаются следующие экономические нормативы:

- плата за основные производственные фонды (ОПФ), трудовые, природные ресурсы;
- отчисления от расчетной прибыли (доход) в государственный бюджет;
- отчисления от расчетной прибыли, а также от амортизации, предназначенной на полное восстановление основных фондов, в централизованный фонд развития производства, науки и техники и резервы министерства;
- образование фонда научно-технического и социального развития;
- образование фонда материального поощрения и общего фонда заработной платы для научных организаций, применяющих форму хозяйственного расчета, основанную на нормативном распределении прибыли;
- образование фонда валютных отчислений и др.

Государственные бюджетные ассигнования для фундаментальных исследований, которые не могут давать экономической отдачи в ближайшее время или являются необходимой частью духовного и социального развития общества, выделяются исходя из важности конкретной научно-исследовательской темы.

1.3 Классификация научных исследований

Научные исследования включают в себя:

- научный труд или научную деятельность человека;
- предмет научного труда;
- средства научного труда.

Научная деятельность человека базируется на конкретных методах познания и связана с получением новых или уточнением старых сведений (данных) об объекте исследования или исследуемом явлении. Предметом научного исследования является объект исследования или исследуемое явление, свойство, связь, на изучение которого направлена деятельность человека.

Средством научного труда является совокупность технических средств обеспечения научного исследования (измерительное оборудование, приборы и приспособления и т. д.).

По степени важности научные исследования подразделяются:

- на выполняемые по государственному плану;
- выполняемые по заданию государственных министерств, агентств и их подразделений;
- выполняемые по заданию местных органов самоуправления;
- выполняемые по инициативе научно-исследовательской организации;
- выполняемые по договорным отношениям с коммерческими, государственными и негосударственными организациями, предприятиями и фирмами.

В зависимости от источников финансирования научные исследования подразделяются на госбюджетные, финансируемые из средств госбюджета, и хоздоговорные, финансируемые в соответствии с договорами, заключенными между заказчиками и исполнителями.

По длительности разработки научные исследования подразделяются на краткосрочные (срок выполнения – до одного года), среднесрочные (срок выполнения — от одного года до пяти лет) и долгосрочные (срок выполнения – более пяти лет).

По виду связи с общественным производством:

- работы, направленные на создание новых средств производства и новых технологий;
- работы, направленные на совершенствование производственных отношений;
- работы, направленные на совершенствование общественных отношений, социальной сферы деятельности человека, повышение уровня духовной жизни и т. д.

Научные исследования в зависимости от целевого назначения, глубины научной проработки, степени связи с природой или промышленным производством подразделяются:

- на фундаментальные;
- прикладные;
- научно-исследовательские;
- опытно-конструкторские разработки.

Целью фундаментальных исследований являются получение новых законов развития, вскрытие связей между явлениями (вид, форма и направление связей), создание новых теорий. Они составляют основу развития науки несмотря на то, что вероятность получения положительного результата составляет около 10 %.

Целью прикладных исследований, включая проектирование, является привязка результатов фундаментальных исследований к конкретным условиям производства.

Объектом их исследования являются различного рода технические системы и новые технологии. Вероятность получения положительного результата при проведении прикладных исследований составляет 20 ... 90 %.

Целью научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок, включая опытное производство, является создание на базе основных результатов функциональных и прикладных исследований опытных образцов техники, новых технологических процессов или усовершенствование существующих технологий и оборудования. Вероятность получения положительного результата при проведении НИОКР составляет 50 ... 90 %.

По способу реализации научные исследования подразделяются на теоретические и экспериментальные.

В ходе теоретических исследований определяются основные методы и критерии исследования, задаются необходимые ограничения, описываются внешние и внутренние связи и т. д.

В ходе экспериментальных исследований создается модель исследуемого объекта, снимаются и обрабатываются необходимые данные, проводятся проверка результатов теоретических исследований и их дальнейшее развитие и уточнение.

1.4 Системный подход при исследовании проблем технической эксплуатации автомобилей

При изучении сложных, взаимосвязанных друг с другом проблем используется системный анализ. 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 определенным критерием.

Системный анализ складывается из 4-х основных этапов:

Первый заключается в постановке задачи – определяют объект, цели и задачи исследования, критерии оценки поведения и управления объектом.

На втором этапе определяются границы изучаемой системы и определяется ее структура.

Третий, важнейший этап системного анализа, заключается в составлении математической модели исследуемой системы.

Четвертый этап системного анализа заключается в анализе полученной математической модели, определении ее экстремальных условий с целью оптимизации и формулировании выводов.

Системный анализ в настоящее время является основным методом научного изучения сложных систем, включающих совокупность процессов и явлений различной физической, химической и биохимической природы.

Системный подход – это совокупность методов и приемов исследований объектов как систем, т.е. целостных множеств, взаимосвязанных элементов. С позиций системного анализа решаются задачи математического моделирования и оптимизация отдельных параметров и подсистем технологических схем, а также и системы в целом. При этом, методология системного подхода сохраняется при анализе иерархических уровней системы.

Техническая эксплуатация автомобилей является важнейшей подсистемой автомобильного транспорта. Как область практической деятельности она является комплексом технических, технологических, организационных и других мероприятий, обеспечивающих поддержание автомобильного парка в работоспособном состоянии при рациональных затратах трудовых и материальных ресурсов и обеспечении заданных уровней дорожной и экологической безопасности.

Основовопологающим при применении системных принципов в научном исследовании является понятие «система» и связанные с ним системные понятия – структура, иерархия, сложность, целенаправленность и др.

При исследовании проблем технической эксплуатации автомобилей в качестве *системы* целесообразно рассматривать объективную совокупность элементов, связанных между собой определённым образом, объединённых единой целью, образующих некоторую целостность, имеющих особое единство с внешней средой и представляющих собой подсистему системы более высокого порядка. Примером может служить система «водитель-автомобиль-дорога-среда» (ВАДС).

Техническая система – это механическое, электрическое, электромеханическое, гидромеханическое, пневмомеханическое устройство, выполняющее определённые технические,

технологические, управленческие и другие функции при использовании по назначению.

Примерами технических систем могут служить автомобиль, двигатель, светофор.

Любая система состоит из подсистем и элементов.

Подсистема – это часть системы, состоящая из ряда элементов и выполняющая определённые функции.

Элемент системы – это объект, выполняющий определённые функции и не подлежащий дальнейшему делению в рамках поставленной перед данной системой задачи.

Система должна иметь внутреннюю структуру, содержание. Связи (в системе и с внешней средой), вход, выход, внешнюю среду, обратную связь, энергию и вещество системы.

Вход системы (X_i) – компоненты, поступающие в систему: исходные параметры технических систем, сырьё, материалы, комплектующие изделия, различные виды энергии, новое оборудование, кадры, документы, информация и т.п. (рис. 1.2)



Рис. 1.2. Принципиальная схема системы и внешней среды

Выход системы (Y_j) – выпускаемые системой технические или технологические параметры, услуги, товары и т.п.

Структура системы – взаимное расположение элементов системы, находящихся в определённой упорядоченности и взаимодействии между собой и средой. При научном исследовании и управлении количество элементов системы и их связей должно быть минимальным, но достаточным для достижения цели системы.

Содержание системы (S_k) – вещественное наполнение системы, совокупность людей, средств производства и предметов труда, всё то, что находится в системе.

Энергия системы – люди и орудия труда, новшества, собственная информация. Научное исследование и управление должны быть направлены на рациональное использование энергии.

Вещество системы – предметы труда - всё, что проходит обработку в системе.

Связи (внутренние и внешние) системы – информационные и документальные потоки в системе между её элементами, системой и системой более высокого уровня, системой и государственными органами для принятия и реализации управленческого решения. При научном исследовании и управлении информация должна быть необходимого объёма и качества, в нужном месте и в нужное время.

Обратная связь – требования эксплуатационников, рекламации потребителей и эксплуатационников, предложения потребителей и эксплуатационников по внедрению новшеств и другая информация, поступающая из сферы потребления и эксплуатации изготовителю либо непосредственно к поставщикам входа системы.

Внешняя среда – компоненты макросреды (страны), инфраструктуры региона, в котором находится система, и микросреды системы, с которыми она имеет прямые или косвенные связи. Компоненты входа и выхода системы к внешней среде не относятся, они относятся к внешнему окружению.

Эффективность мероприятий ТЭА обеспечивается инженерно-технической службой (ИТС). ИТС – это подразделение предприятий и организаций автомобильного транспорта, обеспечивающих эффективное управление работоспособностью подвижного состава автомобильного транспорта [2]. Главной задачей ТЭА является поддержание работоспособности парка автомобилей на высоком уровне и снабжение транспортного процесса технически исправными автомобилями. Тем самым она

вносит весомый вклад в выполнение плана перевозок и является объектом, который постоянно совершенствуется для получения максимальных результатов в работе автомобильного транспорта, как системы в целом.

Для того, чтобы достигнуть хороших результатов в работе того или иного объекта, им необходимо управлять. А для того, чтобы эффективно управлять, необходимо после формирования системы выявить все многообразие факторов, действующих на объект управления, а также степень их влияния. Для выполнения такой задачи, необходимо проводить научные исследования. Методологической основой для проведения подобных исследований является системный подход, который получает широкое распространение на автомобильном транспорте.

Скорректированный с учетом специфики автомобильного транспорта процесс управления может состоять из нескольких этапов:

1. Определение цели, стоящей перед системой или подсистемой (отрасль, автотранспортное предприятие, производственный участок и т.д.);
2. Получение информации о состоянии системы и о внешних факторах, действующих на систему;
3. Обработка и анализ информации, оценка ее точности и представительности;
4. Принятие управляющих решений в соответствии с целями системы, полученной и обработанной информацией;
5. Реализация управляющего действия;
6. Получение отклика о результатах реализации решения.

Наиболее важным и ответственным этапом управления является процесс принятия решений. На автомобильном транспорте при управлении ИТС возникает два типа задач:

1. Задачи, требующие принятия стандартного решения (решения о проведении технического обслуживания);
2. Задачи, требующие принятия нестандартного решения (разработка программы организационно-технических мероприятий

по совершенствованию работы инженерно-технической службы автотранспортного предприятия).

Теории принятия решений уделяется много внимания как у нас в стране, так и за рубежом [2,3]. Это связано с увеличением роли управления в вопросах совершенствования технико-экономических решений. Однако, до сих пор не выработана единая схема принятия решений. Несмотря на это, можно выделить в характерных для автомобильного транспорта вариантах процесса принятия решений следующие характерные этапы:

- сбор информации;
- установление цели;
- выбор критерия эффективности работы системы;
- разработка вариантов решений (стратегий);
- выбор оптимального по критерию эффективности с учетом накладываемых на систему ограничений решений;
- принятие и реализация управляющих решений.

Рассматриваемая ИТС как сложную динамическую систему, можно представить ее с различных точек зрения. Сам системный подход включает в себе ряд взаимосвязанных аспектов:

- системно-элементный, отвечающий на вопрос – из каких частей состоит система;
- системно-функциональный, показывающий, какие функции выполняет система в целом и образующие ее компоненты;
- системно-структурный, раскрывающий внутреннюю организацию системы, способ взаимодействия образующих ее компонентов;
- системно-интегративный, раскрывающий источник, факторы сохранения, совершенствования и развития системы.

Системно-элементную схему ИТС можно представить следующим образом (рис. 1.3):

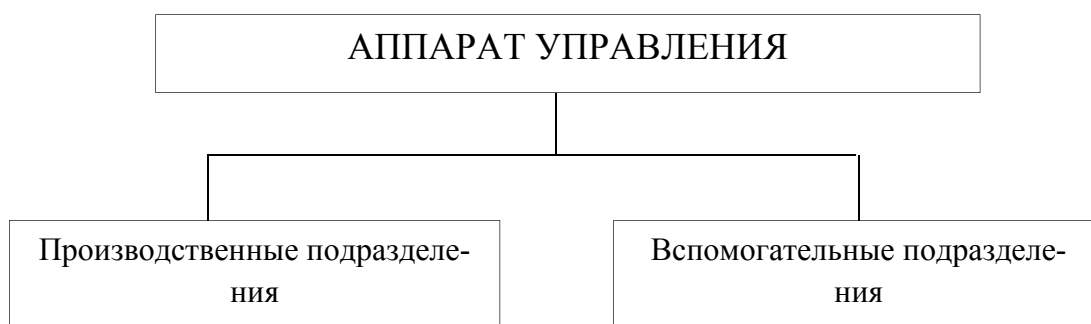


Рис. 1.3. Системно-элементарная схема инженерно-технической службы

Аппарат управления – подразделения (органы), координирующие и направляющие деятельность производственных и вспомогательных подразделений ИТС. К нему относится технический отдел (производственно-технический отдел), центр управления производством (ЦУП) автотранспортного предприятия и т.д. Функциональную схему инженерно-технической службы в общем виде можно представить следующим образом (рис. 1.4):

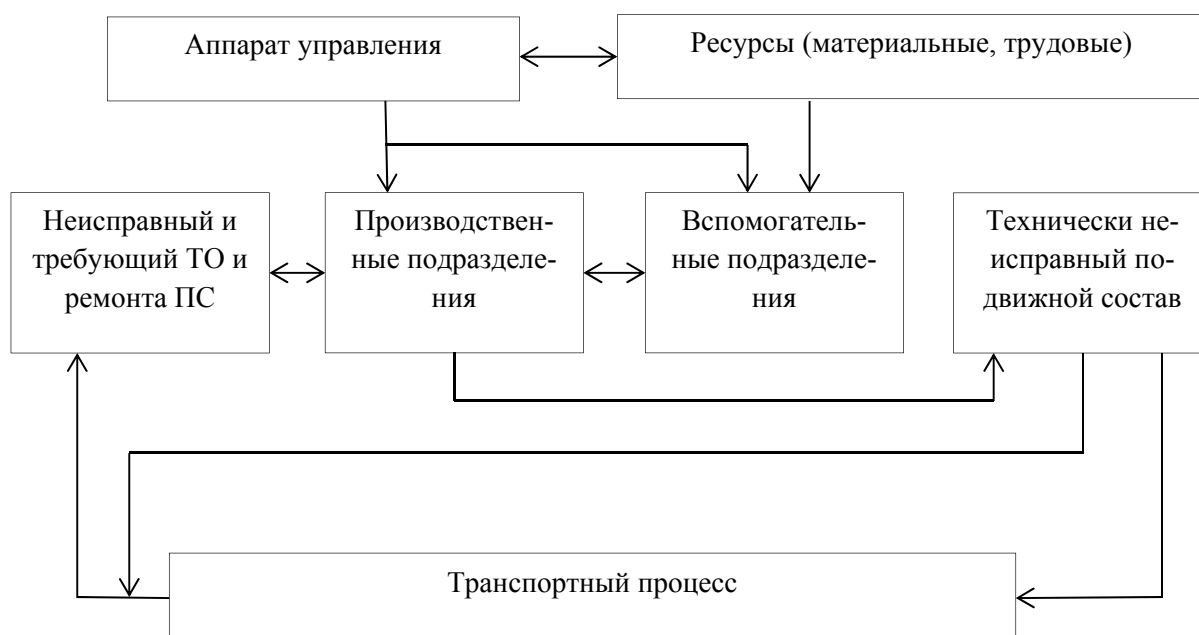


Рис. 1.4. Укрупненная функциональная схема инженерно-технической службы

Производственные подразделения – это производственные зоны, участки и цеха, где непосредственно производят работы по техническому обслуживанию и текущему ремонту,

обеспечивающие исправное техническое состояние подвижного состава, его заправку и хранение. Вспомогательные подразделения – это органы, обеспечивающие нормальную работу производственных подразделений. К ним относятся служба подготовки производства, отдел материально-технического снабжения и др. Если рассматривать ИТС как систему, то ее можно отнести к классической открытой системе (рис. 1.5).

Входом этой системы является поток технически неисправных или требующих технического обслуживания (ТО) или заправки, или хранения автомобилей.

Выходом является поток технически исправных автомобилей. В качестве ограничений выступают производственные возможности зон и участков ТО и ТР, а также материальные, трудовые и другие ресурсы. Обратная связь – информация о линейных отказах и неисправностях подвижного состава и др.

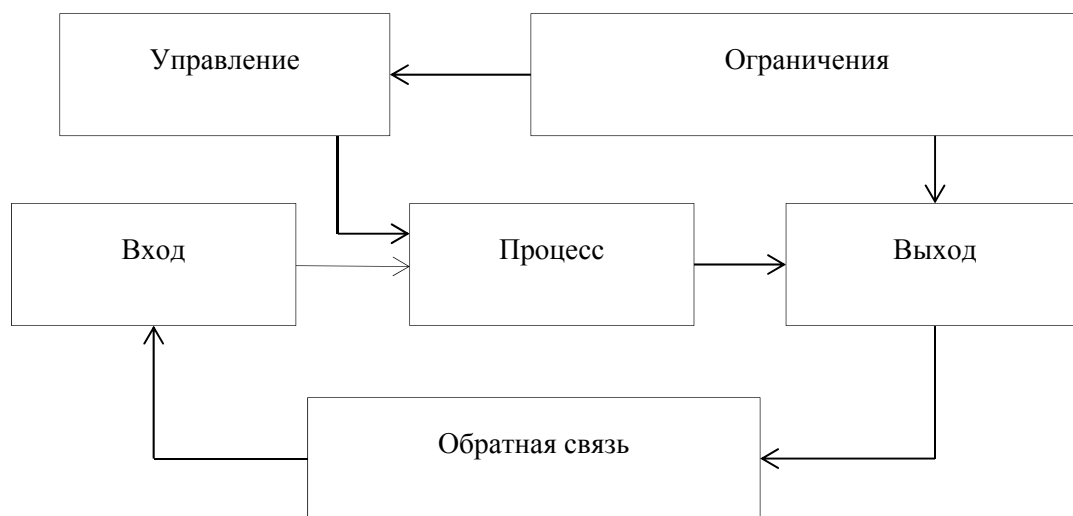


Рис. 1.5. Принципиальная схема открытой системы

Данная схема является универсальной и может быть положена в основу решения многих практических задач, обеспечивая, в конечном счете, более высокое качество на выходе по сравнению с ранее используемыми методами, ориентированными на всесторонние исследования одного, признанного «критическим», фактора. Это особенно характерно для пассажирского

(коммерческого и муниципального) транспорта, являющегося сейчас основной составляющей автотранспорта общего пользования.

Таким образом, с учетом изложенного можно предположить, что при принятии решений в области управления ИТС автотранспорта общего пользования необходимо:

- рассматривать всю совокупность факторов условий эксплуатации при их взаимодействии и дополнении друг друга;
- оценивать как индивидуальное, так и совокупное их влияние. При этом особо анализировать эмерджентные свойства, в частности систему факторов, формирующих сложность маршрутов движения автобусов, которые, в конечном счете, будут определять показатели работы ИТС, необходимо рассматривать как целостность, имеющую свойства, которыми не обладает ни один из факторов в отдельности;
- регистрировать технико-экономические показатели этих свойств по возможности по отчетным данным автотранспортных предприятий;
- применять для анализа новые прогрессивные методы, в частности многомерной математической статистики и осваивать и приспособлять штатное программное обеспечение современных ПЭВМ в этом направлении [1].

1.5 Методы научного исследования при технической эксплуатации автомобилей

Работоспособность автомобилей и автомобильных парков обеспечивается технической эксплуатацией автомобилей.

Как область практической деятельности *техническая эксплуатация автомобилей* – это комплекс взаимосвязанных технических, экономических, организационных и социальных мероприятий, обеспечивающих:

- своевременную передачу службе перевозок или внешней клиентуре работоспособных автомобилей, требуемых технико-

эксплуатационных свойств, в необходимом количестве и номенклатуре и в нужное для потребителя время;

- поддержание автомобильного парка в работоспособном состоянии при рациональных затратах трудовых и материальных ресурсов, нормативных уровнях дорожной и экологической безопасности и нормативных условиях труда персонала.

Как отрасль науки ТЭА определяет пути и методы управления техническим состоянием автомобилей и автомобильных парков для обеспечения регулярности и безопасности перевозок при наиболее полной реализации технико-эксплуатационных свойств автомобилей, заданных уровней их работоспособности и технического состояния, оптимизации материальных и трудовых затрат и минимума отрицательного влияния автомобильного транспорта на окружающую среду, население и персонал. Эффективность ТЭА обеспечивается инженерно-технической службой (ИТС), которая реализует цели и задачи ТЭА. Используя при этом и методы научного исследования.

Под методом научного исследования необходимо понимать правила, приёмы, способ или совокупность способов, реализация которых позволяет достичь намеченной цели исследования. Это путь исследования.

Методологией именуют систему определённых принципов, приёмов и операций, применяемых в той или иной сфере деятельности (в науке, политике, искусстве и т.п.), а также учение об этой системе.

В основе любого научного исследования, прежде всего, должны лежать общедialeктические и системные методологии, которые вооружают исследователя знанием общих принципов познания современного мира и являются всеобщей основой исследования.

Всеобщим методом познания при этом является метод диалектического и исторического материализма. Диалектический материализм утверждает, что предметы и явления движутся, изменяются, имеют причины. Основные законы диалектики: закон

перехода количественных изменений в качественные, закон единства и борьбы противоположностей, закон отрицание отрицания.

Законы диалектики не выдуманы, а извлечены из самой природы и общественной жизни, они отражают объективные законы, существующие независимо от сознания людей, поэтому их нельзя отменить. При научных исследованиях используется диалектическая логика, которая требует, чтобы предмет и его отражение в сознании людей рассматривалось всесторонне: в развитии, самодвижении, в существенных связях с другими предметами, через возникновение и развитие противоречий, в количественных и качественных изменениях и т.д.

Научное исследование, в отличие от других видов исследований характеризуется: актуальностью, последовательностью, логичностью, системностью, полнотой, достоверностью, объективностью, доказательностью и воспроизводимостью [3].

Материалистический взгляд на науку определяет ее преемственность, основанную на обобщении человеческой практики.

Пока соответствующие законы не открыты, человек может лишь описывать явления, собирать, систематизировать факты, но он ничего не может обеспечить и предсказать.

Развитие науки идет от сбора фактов, их изучения и систематизации, обобщения и раскрытия отдельных закономерностей к связанной, логически стройной системе научных знаний, которая позволяет объяснить уже известные факты и предсказать новые.

Процесс познания включает накопление фактов. Без систематизации и обобщения, без логического осмысления фактов не может существовать никакая наука. Факты становятся составной частью научных знаний, если они выступают в систематизированном обобщенном виде.

Кроме того, каждая наука, которой является и техническая эксплуатация автомобилей, имеет свои конкретные методы исследования.

В технической эксплуатации автомобилей получили развитие следующие универсальные для технических наук методы исследования.

1. *Анализ* — метод научного познания, заключающийся в том, что объект исследования мысленно расчленяется исследователем на более мелкие подобъекты или выделяются характерные свойства и качества объекта для их детального изучения. Анализ позволяет выделить главные звенья любого объекта, исследовать основные связи, т. е. понять суть происходящего. Так, при изучении надежности автомобилей в эксплуатации сначала выделяют четыре свойства надежности (безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость), а затем изучают их в отдельности.

2. *Синтез* – метод научного познания объекта как единого целого или присущих ему свойств. Он используется для исследования сложных систем после того, как выполнен анализ отдельных элементов системы. Анализ и синтез взаимосвязаны и дополняют друг друга.

3. *Индуктивный метод исследования*, заключающийся в том, что по результатам единичных наблюдений делают общие выводы, на основании которых судят о связях и свойствах неизвестных объектов.

Метод индукции – логический метод, в основе которого при исследовании исходят от частных случаев к общим. Например, таблица Д.И. Менделеева. Сначала он изучал отдельные свойства различных элементов, нашел в них общее: валентность, удельный вес и т.д., которые изменяются по определенным общим законам, на основании чего была создана таблица.

4. *Дедуктивный метод*, основанный на выводе частных положений из общих правил, законов, суждений, распространен в

технике, математике, где из общих законов или аксиом выводятся частные закономерности.

Метод дедукции - логический метод изучения от общего к частному.

От общих суждений об объекте, явлении к конкретным выводам о них. Например, на основе общих законов механики получают уравнение движения автомобиля с ускорением и замедлением, с уклоном и без уклона, с грузом и без груза и т. д. Изучение свойств химических элементов на основе таблицы Д. И. Менделеева и ее заполнение.

Недостатком этого метода исследований являются ограничения, вытекающие из общих зависимостей, на основе которых исследуется частный случай. При теоретических исследованиях используется как индукция, так и дедукция. Например, гипотеза обосновывается на основе общего (дедукции), а формулируется на основе исследованного частного (индукции).

5. *Научное абстрагирование* – метод, применяемый в случаях, когда необходимо сосредоточить внимание на основных элементах, связях, свойствах исследуемого объекта, не останавливаясь на частных или второстепенных его элементах или связях (например, приложение сил, действующих на автомобиль при его движении, к центру масс (центру тяжести)).

6. *Формализация*, заключающаяся в том, что исследуемый объект описывается математическими терминами и формулами. При этом конкретизируются цель и задачи исследования, более четко определяются условия их решения.

7. *Аналогия*, или *подобие* (сходство по какому-то признаку в целом различных объектов), заключающееся в том, что по сходству свойств изученных объектов делается вывод о сходстве еще не изученных свойств. Пример: назначение периодичности и трудоемкости ТО ТР вновь созданного автомобиля по нормативам, характерным для его аналога (прототипа).

8. *Моделирование* – метод научного исследования, при котором изучение свойств объекта проводится на упрощенной модели объекта, а не на нем самом непосредственно.

Перечисленные ранее методы научного исследования связаны между собой и в конкретном научном исследовании применяются комплексно и дополняют друг друга (физическое, имитационное моделирование и т. д.).

1.6 Планирование научного исследования

Планирование в сфере науки – это процесс выбора целей, фундаментальных и приоритетных прикладных направлений научных исследований и разработок с учетом потребностей общества. Важнейшей целью планирования является также определение материальных, финансовых и кадровых ресурсов и возможностей для обеспечения развития инновационного процесса и эффективного функционирования науки.

В ходе экономической реформы в нашей стране выработана принципиально новая концепция совершенствования экономики и управления научно-техническим прогрессом, которая основывается на следующих принципах:

1) переход от государственного централизованного планирования развития науки и техники к государственно-общественному регулированию научно-технического прогресса;

2) участие и тесное взаимодействие законодательных органов, исполнительной власти и научно технического сообщества в выработке и принятии важнейших решений на всех уровнях управления наукой и техникой; активное использование рыночных отношений в качестве эффективного инструмента организации и координации деятельности инновационного процесса «идея-исследование-техника-производство-реализация (освоение), маркетинг»;

3) формирование эффективного механизма анализа и выбора фундаментальных и приоритетных направлений развития науки и техники.

В период переходной экономики радикально реорганизуется научная деятельность. При планировании НИР необходимо учитывать эти качественные изменения. Ведь создание нормальных условий функционирования научного сообщества и повышения эффективности фундаментальных исследований при переходе к рыночной организации общественного производства предполагает расширение самостоятельности академических НИИ с замещением административно-ведомственного контроля демократическими процедурами управления и переходом к конкурсно-контрактному принципу организации научных исследований и их финансирование главным образом через целевые программы.

В этом случае объектом финансирования становится конкретный проект, а объектом финансирования - выдвинувший его ученый, коллектив или организация, в распоряжение которых направляются средства.

Следовательно, в новых социально-экономических условиях наряду с апробированными принципами планирования научных исследований: сочетание интересов государства, общества, научных учреждений и предприятий через целевые программы, выделение основного звена в общей цепи исследуемых проблем, комплексность исследований.

В целом система планирования науки совершенствуется, четко разграничиваются функции по видам и формам планирования и координации научных исследований. К ним следует отнести разработку основных направлений научно-технического прогресса, прогноз развития науки, выбор приоритетов, разработку федеральных и региональных программ, координационных планов и планов научных исследований в регионах и конкретных научных и образовательных учреждениях по выработке научной продукции и реализации ее потребителю.

Планирование имеет важное значение для организации рационального исследования. Научно-исследовательские организации и образовательные учреждения разрабатывают планы работы на основе целевых комплексных программ, долгосрочных

научных и научно технических программ, хозяйственных договоров и заявок на исследования, представленных заказчиками.

Научная работа кафедр высших учебных заведений организуется и проводится в соответствии с планами работы на учебный год. Профессора, преподаватели и аспиранты выполняют научно-исследовательские работы по индивидуальным планам.

Планируется и научно-исследовательская работа студентов. Планы работы учебных заведений и кафедр могут содержать соответствующий раздел о НИРСе. По планам работают студенческие научные кружки и проблемные группы.

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

Рабочая программа - это изложение общей концепции исследования в соответствии с его целями и гипотезами. Она состоит, как правило, из двух разделов: методологического и процедурного.

Методологический раздел включает в себя:

- 1) формулировку проблемы или темы;
- 2) определение объекта и предмета исследования;
- 3) определение цели и задач исследования;
- 4) интерпретацию основных понятий;
- 5) формулировку рабочих гипотез.

Формулировка проблемы (темы) - это определение задачи, которая требует решения. Проблемы бывают социальные и научные. Социальная проблема-это противоречие в развитии общественной системы или отдельных ее элементов.

Научная (гносеологическая) проблема - это противоречие между знаниями о потребностях общества и незнанием путей и средств их удовлетворения. Такие проблемы решаются путем создания теории, выработки практических рекомендаций.

Объект исследования - это то социальное явление (процесс), которое содержит противоречие и порождает проблемную ситуацию.

Предмет исследования - это те наиболее значимые с точки зрения практики и теории свойства, стороны, особенности объекта, которые подлежат изучению.

Определение цели и задач исследования.

Цель исследования - это общая его направленность на конечный результат.

Задачи исследования - это то, что требует решения в процессе исследования.

Интерпретация основных понятий - это истолкование, разъяснение значения основных понятий. Существуют теоретическая и эмпирическая интерпретация понятий.

Теоретическое истолкование представляет собой логический анализ существенных свойств и отношений интерпретируемых понятий путем раскрытия их связей с другими понятиями.

Эмпирическая интерпретация - это определение эмпирических значений основных теоретических понятий, перевод их на язык наблюдаемых фактов. Эмпирически интерпретировать понятие - это значит найти такой показатель (индикатор), который отражал бы определенный важный признак содержания понятия и который можно было бы измерить.

Гипотеза как научное предположение, выдвигаемое для объяснения каких-то фактов, явлений и процессов, является важным инструментом успешного решения исследовательских задач. Программа исследования может быть ориентирована на одну или несколько гипотез. Различают гипотезы: описательные, объяснительные и прогнозные, основные и неосновные, первичные и вторичные, гипотезы основания и гипотезы следствия.

Процедурный раздел рабочей программы включает в себя:

- 1) принципиальный план исследования;
- 2) изложение основных процедур сбора и анализа эмпирического материала.

Конкретное научное исследование осуществляется по принципиальному плану, который строится в зависимости от количества информации об объекте исследования. Планы бывают разведывательные, аналитические (описательные) и экспериментальные.

Разведывательный план применяется в случае, если об объекте и предмете исследования нет ясных представлений и трудно выдвинуть рабочую гипотезу. Цель составления такого плана - уточнение темы (проблемы) и формулировка гипотезы. Обычно он применяется тогда, когда по теме отсутствует литература или ее очень мало.

Описательный план используется тогда, когда можно выделить объект и предмет исследования и сформулировать описательную гипотезу. Цель плана - проверить эту гипотезу, описать факты, характеризующие объект исследования.

Экспериментальный план включает проведение социального (правового) эксперимента. Он применяется тогда, когда сформулированы научная проблема и объяснительная гипотеза. Цель плана - определение причинно-следственных связей в исследуемом объекте.

В процедурном разделе программы обосновывается выбор методов исследования, показывается связь данных методов с целями, задачами и гипотезами исследования. При выборе того или иного метода следует учитывать, что он должен быть:

- эффективным, т.е. обеспечивающим достижение поставленной цели и необходимую степень точности исследования;
- экономичным, т.е. позволяющим сэкономить время, силы и средства исследователя;
- простым, т.е. доступным исследователю соответствующей квалификации;
- безопасным для здоровья и жизни людей;
- допустимым с точки зрения морали и норм права;
- научным, т.е. имеющим прочную научную основу.

При составлении плана следует стремиться, чтобы:

а) вопросы соответствовали выбранной теме и не выходили за ее пределы;

б) вопросы темы располагались в логической последовательности;

в) были включены вопросы темы, отражающие основные аспекты исследования.

План не является окончательным и в процессе исследования может меняться, так как могут быть найдены новые аспекты изучения объекта и решения научной задачи.

Чтобы основные этапы научного исследования соответствовали плану (программе) исследования, календарным срокам и материальным затратам, составляется рабочий план (план график) выполнения работ.

Исследователь должен уметь так выстроить логическую очередность выполнения работ, чтобы она в установленные сроки привела к достижению поставленной цели и решению научной задачи. В работе необходимо выделить главное, на чем следует сосредоточить внимание в данный момент, но вместе с тем нельзя упускать из поля зрения детали. Научиться не только смотреть, но и видеть, замечать важные частности, большое - в малом, не уклоняясь от намеченной главной линии исследования - это очень важное качество ученого.

1.7 Прогнозирование научного исследования

Прогнозирование развития науки и производства - это определение путей повышения уровня обоснованности плановых и управленческих решений, снижения степени риска и допущения ошибок в управлении производством, что в конечном счете должно дать существенную экономию материальных, трудовых и финансовых ресурсов.

Благодаря прогнозированию можно обосновать необходимость разработки новых видов техники и технологии, оптимально распределять капитальные вложения, своевременно

создавать или совершенствовать научные организации по наиболее перспективным направлениям.

Научно-техническое прогнозирование должно решать следующие задачи:

- устанавливать альтернативные цели научно-технического прогресса;
- находить оптимальные пути и средства их достижения;
- определять необходимые ресурсы и возможные сроки реализации поставленных целей;
- выявлять ограничения, влияющие на процесс научно-технического развития;
- характеризовать возможные социально-экономические последствия реализации вариантов научно-технического развития;
- определять взаимодействие целей, средств, ресурсов и выявлять по принятым критериям эффективность предпочтительных направлений развития науки и техники.

Задачи прогнозирования имеют некоторые особенности для разных стадий научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Так, основными задачами прогнозирования являются:

- для фундаментальных исследований - определять возможные области расширения знаний об изучаемых явлениях;
- оценивать приоритетность новых научных направлений и проблем;
- устанавливать абсолютные и относительные пределы развития изучаемых процессов и др.;
- для поисковых исследований - находить альтернативные способы решения проблем;
- разрабатывать критерии оценки исследований с точки зрения социально-экономических последствий;
- определять оптимальную стратегию развития науки и техники и др.;

- для прикладных исследований - оценивать возможности использования определенных принципов и законов при создании новых техники и технологии;
- формулировать научно и организационно-технические проблемы, при решении которых будут созданы новые технологии и техника;
- для опытно конструкторских работ - показывать социально-экономическую потребность в новой технике;
- определять предельные технические возможности создания новых изделий, формулировать технические требования к ним и технические задания;
- формировать параметрические ряды перспективных технических систем;
- оценивать эффективность вероятных проектных альтернатив.

Различают поисковое и нормативное прогнозирование. Поисковое прогнозирование основано на принципе инертности развития объектов и процессов и ориентировано во времени от настоящего к будущему. Поисковый прогноз представляет собой результаты исследования будущего, исходя из существующего состояния объекта, путем анализа исторических тенденций его развития.

Нормативное прогнозирование заключается в определении тенденций развития объектов прогноза. При этом прогнозы должны быть ориентированы во времени - от будущего к настоящему. Нормативный прогноз означает проектирование будущего посредством выявления условий и путей развития объекта для достижения намеченных целей. Сочетание поискового и нормативного прогнозов - это интегральный подход к их разработке.

К формам обоснования управленческих решений относятся следующие прогнозы.

Целевой прогноз - определение целей будущего научно-технического развития с последующим выделением приоритетов и временных интервалов достижения поставленных целей. При этом ранжируются цели: нежелательно, менее желательно, более желательно, оптимально.

Программный прогноз - формирование возможных путей, мер и условий достижения поставленных целей. При его разработке выдвигается гипотеза о возможных взаимных влияниях различных факторов, координируются предполагаемые сроки, последовательность и очередность достижения промежуточных целей на пути к главной.

Проектный прогноз - отбор оптимальных вариантов перспективного прогнозирования, на основе которых затем начинают текущее проектирование.

Организационный прогноз - разработка текущих управленческих решений для достижения поставленных целей и реализации желаемого состояния объекта.

По *временному признаку* прогнозы подразделяют следующим образом.

Оперативные прогнозы содержат, как правило, детальные количественные оценки и ориентированы на тот отрезок времени, на протяжении которого не ожидается существенных изменений объекта исследования и внешней среды.

Краткосрочные прогнозы разрабатывают на тот период, в течение которого ожидаются только общие количественные изменения.

Среднесрочные прогнозы охватывают период упреждения, где количественные изменения преобладают над качественными.

Долгосрочные прогнозы характеризуют период упреждения с преобладанием качественных изменений над количественными.

Дальнесрочные прогнозы ориентированы на перспективу, когда ожидаются значительные качественные изменения. В этом случае вырабатывают только общие качественные оценки. Такие прогнозы разрабатывают более чем на двадцатилетний период.

На основных этапах научно-технического прогнозирования формируется информационная база прогноза, разрабатывается модели объекта прогноза, создаются модели внешней среды и ее влияния на объект прогнозирования, разрабатывается прогноз на основе выбранного метода прогнозирования, делается оценка качества прогноза, принимаются решения на основе прогнозной информации.

По *количеству принципов* методы прогнозирования подразделяют на сингулярные, применяющие только один принцип работы, и комплексные, объединяющие два и более сингулярных метода. Предельное количество комплексных методов равно числу возможных сочетаний сингулярных методов.

Из известных комбинаций сингулярных методов наиболее простая (по процедуре организации и применяемым прогностическим приемам) - совместная обработка результатов информационного (статистического, математического) и инициативного (эвристического) прогнозирования и получения комбинированных оценок.

Комплексные методы прогнозирования более сложные. Они представляют собой комплексные системы прогнозирования, синтезирующие в определенной последовательности алгоритмы целого ряда сингулярных методов. Применяя комплексные системы, получают интегральный прогноз, построенный на основе синтеза поискового и нормативного прогнозирования. Область применения таких методов - это прогнозирование развития сложных технических и организационно-экономических систем, комплексных научно-технических и промышленных программ, затрагивающих большое количество смежных отраслей производства и областей знаний.

По *степени формализации* методы прогнозирования подразделяют на интуитивные (экспертные) и формализованные (фактографические). Интуитивные методы подразделяют на две группы: индивидуальные и коллективные экспертные оценки, а формализованные - на три группы:

- экстраполяционные методы, основанные на построении и анализе эмпирических динамических рядов характеристик объекта;
- опережающие методы, базирующиеся на обработке информации, относящейся непосредственно ко времени упреждения;
- системно-структурные методы, предполагающие логический анализ модели развития объекта.

Интуитивные методы прогнозирования основаны на обработке информации, полученной систематизированием опроса высококвалифицированных специалистов-экспертов. Из экспертных интуитивных методов наиболее широко применяют индивидуальные экспертные оценки - в форме интервью, аналитических докладных записок, сценариев, а также методы коллективных экспертных оценок, основанные на выявлении коллективного мнения экспертов о перспективах развития объекта прогнозирования. Наиболее распространен метод коллективных экспертных оценок с применением анкетных опросов. Но существует еще целый ряд более сложных (квалифицированных) методов коллективных оценок и их модификаций, таких как методы комиссий, мозговой атаки, деструктивной, отнесенной оценки и т. д.

Группу системно-структурных методов составляют методы функционально-иерархического моделирования (например «дерево целей»), морфологического анализа, матричный, сетевого моделирования, структурной аналогии и др.

Среди формализованных методов получили распространение группы статистических методов экстраполяции тенденций (прогнозная экстраполяция, интерполяция, экстраполяция по огибающим кривым, инверсная), а также методов математико-статистического и информационного моделирования - с использованием корреляционно-регрессионного и факторного анализа, вероятностного и экономического моделирования и др.

При прогнозировании фундаментальных и поисковых исследований наиболее широко применяют составление сценариев,

построение «дерева целей», разнообразные экспертные методы (мозговая атака, коллективный и индивидуальный экспертные опросы и др.), прогнозные графики, матричные методы, казуальное моделирование, основанное на установлении причинно-следственных связей известных факторов, морфологический анализ, экстраполяцию тенденций.

При прогнозировании прикладных исследований и разработок, помимо перечисленных, часто используют патентные методы, имитационное, сетевое, игровое и операционное моделирование.

При поисковом и нормативном прогнозировании научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ преобладают интуитивные методы. В рамках крупных исследовательских программ наиболее распространен метод построения и расчета «дерева целей». Его основу составляет концепция иерархии целей и задач, оценки их относительной важности.

Прогнозное исследование методом «дерева целей» включает в себя три этапа. На первом этапе высококвалифицированные специалисты эксперты составляют описательный документ - сценарий, в котором без количественных оценок анализируют цели, направления и задачи развития объекта научно-технического прогноза, учитывая перспективы формирования фона на основе разнообразных данных о складывающихся тенденциях прогресса науки и техники. По сценарию можно сформулировать генеральную цель и перечень подчиненных ей целей высшего уровня, определить число уровней и их наименования, вывести критерий для оценки элементов каждого из них. На втором этапе иерархическое «корневое дерево» строят последовательно таким образом, чтобы задачи последующего уровня обеспечивали достижение целей предыдущего. При этом используют данные предварительного исследования, а также знания и опыт привлекаемых для работы экспертов. Состав элементов на каждом уровне «дерева целей» определяют в результате экспертного опроса. На третьем этапе оценивают относительную важность

элементов «дерева целей», используя экспертные методы, либо оценку делают по системе критериев. Последним методом устанавливают совокупность критериев оценки элементов n -го уровня.

Для решения задач, связанных с разработкой научно-технических прогнозов, применяют также метод морфологического анализа. Чтобы установить вероятностные альтернативы развития, объект разделяют на элементы и компоненты. Затем проводят их комбинаторный анализ и синтез, выявляя потенциально осуществимые решения и выбирая оптимальный вариант развития объекта.

Методом морфологического анализа можно прогнозировать результат фундаментальных исследований, определить прогностическую значимость изобретений, оказавшихся вне поля зрения специалистов, отыскать возможности, не рассматриваемые ранее.

Результатами научно-технических прогнозов должны быть:

- показатели отечественных и мировых достижений по научно-техническим направлениям;
- показатели экономической эффективности;
- показатели ожидаемого технического уровня производства;
- варианты распределения затрат между фундаментальными, прикладными исследованиями и опытно-конструкторскими работами для каждого научно-технического направления;
- оценка социальных последствий реализации научно-технической проблемы;
- оценка эффективности капитальных вложений в науку и технику;
- оценка возможных масштабов применения объекта прогнозирования;
- рекомендации по выбору оптимальных направлений ассигнований на развитие науки и техники.

Цель отраслевого прогнозирования - определение стратегии развития отрасли и путей решения научно технических и социально-экономических проблем на долгосрочную перспективу. Объектами прогнозирования для отрасли считают: потребность в продукции, развитие научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, научно-производственный потенциал, потребность в ресурсах (материальных, трудовых, финансовых), организацию отраслевого производства и межотраслевые связи, управление научной и производственной деятельностью, экономическое и социальное развитие.

Комплексный прогноз научно-технического развития в отрасли осуществляют каждые пять лет.

К объектам регионального прогнозирования относят:

- в отраслевом аспекте - развитие отраслей народного хозяйства и промышленности, размещение и специализацию производства и предприятий и др.;
- в межотраслевом аспекте - формирование и развитие межотраслевых, научно-технических и производственно-технологических комплексов, проблемно-ориентированных подкомплексов, а также частные научно-технические проблемы;
- в территориальном аспекте - размещение производства и отраслей инфраструктуры по зонам, научных организаций и предприятий по промышленным центрам и узлам, развитие и размещение отдельных территориальных научно-производственных комплексов;
- в аспекте функциональной детализации – производственно-финансовую, трудовую, потребительскую и другие виды деятельности.

На первом этапе регионального прогноза формируют состав задач, выявляя основные диспропорции и проблемы в развитии экономики региона, а также конкретизируют объекты долгосрочного прогнозирования. На втором этапе прогнозируют народно-хозяйственные потребности в продукции или услугах, связанные с региональным экономическим развитием. На

последующих этапах разрабатывают нормативные и поисковые варианты, которые будут основой для последующего формирования единого прогноза развития региона.

Наиболее перспективная форма организации прогнозных исследований в научной организации - создание постоянно действующей комплексной системы прогнозирования.

С помощью такой системы обеспечивают:

- плановую разработку значительного числа высококачественных прогнозов различной глубины упреждения и комплексности в соответствии с принципами рационализации и эффективности;
- систематическую корректировку и обновление ранее выполненных прогнозных разработок с учетом вновь поступившей информации;
- использование прогнозной информации в управлении и планировании путем включения прогнозов в перспективные и долгосрочные программы и планы.

Структура постоянно действующей комплексной системы прогнозирования включает в себя ряд функциональных и целевых подсистем, в которых разрабатывают комплексы задач, а также решают отдельные системные и частные задачи.

К функциональным относят следующие подсистемы:

- сбора и обработки информации;
- прогнозирования, включая блоки экспертных, экономико-математических и комбинированных прогнозов;
- оценки качества прогнозов; разработки перспектив развития.

К целевым относят подсистемы:

- кратко, средне, долгосрочного прогнозирования;
- подсистему оперативной информационно справочной службы.

Службы прогнозирования обеспечивают руководящие и плановые органы достоверной информацией о тенденциях и

перспективах научно-технического прогресса, главных направлениях развития науки, техники и производства в отрасли, при которых можно добиться наилучших результатов в новых условиях хозяйствования.

1.8 Выбор темы научного исследования

При выборе темы научного исследования необходимо оценить ее перспективность. В настоящее время приобретают особое значение численные методы оценки, среди которых можно выделить математический метод и метод экспертных оценок.

В основе *математического метода* лежат показатели (обычно экономические), определяющие перспективность исследований, например, следующие:

$$Kэ = \frac{VгCедPв\sqrt{T}}{Зн+Зо+Зп} \quad (1.1)$$

где $Kэ$ – параметр экономической перспективности; $Vг$ – объем продукции в год, внедряемой после освоения данной темы, ед./год;

$Cед$ – стоимость единицы продукции, усл. ед.; $Pн$ – вероятность научного успеха в разработке темы; $Pв$ – вероятность внедрения научных разработок; T – продолжительность производственного внедрения, лет; $Зн$ – общие затраты на научные исследования, усл. ед.; $Зо$ – затраты на опытное и промышленное основание, усл. ед.; $Зп$ – затраты на производство продукции, усл. ед.

Формулу (1.1) можно представить в виде

$$Kэ = \frac{Эо}{Зн} (1 - Pp) \quad (1.2)$$

где $Эо$ – общий ожидаемый экономический эффект, усл. ед.;

Pp – вероятность риска.

Чем больше $Kэ$, тем предпочтительнее тема.

Для предварительных оценок предпочтительности разработок нововведений используют следующую формулу:

$$Пз = \frac{0(1-F)}{3} \quad (1.3)$$

где P_z —предпочтительность затрат на разработку нововведений;

F —вероятность риска-неуспеха разработки и реализации нововведений за заданное время;

Z —затраты, необходимые для разработки и создания нововведений.

Согласно международным подходам программа разработки нововведений может приниматься к рассмотрению, если $P_z \geq 3$.

В последнее время широкое применение получают и методы экспертных оценок. Планируемую тему оценивают специалисты-эксперты, используя при этом баллы, ранги и т. д. После соответствующей математической обработки результатов экспертизы различных направлений выявляются наиболее приоритетные. При этом пользуются информационными материалами разного уровня достоверности: от высказываний отдельных специалистов, которые могут быть и заинтересованы в этих оценках, до конкретной информации по опыту эксплуатации систем и изделий, применению технологических, организационных и управленческих решений. В этих случаях возможна классификация информации (табл. 1.1), на основе которой исходный показатель (P_i), полученный на основе информации i -го класса, при расчетах (P_r) корректируется с помощью коэффициента K_i , зависящего от класса информации и вида оценок:

$$P_r = K_i P_i. \quad (1.4)$$

Нижняя граница поправочного коэффициента K_{in} используется при расчете показателей эффективности, а верхняя граница поправочного коэффициента K_{iv} – при расчете затрат.

Примером применения экспертизы является оценка рисков в известном пакете программ «Project Expert» для следующих стадий проекта:

- исследования и разработки;
- приобретение и аренда земли;
- строительство, аренда или приобретение зданий и сооружений;

- приобретение и монтаж технологического и офисного оборудования;
- разработка и изготовление технологической оснастки и инструмента;
- производство;
- рынок;
- продукт, изделие;
- система распределения;
- реклама;
- сервис.

Таблица 1.1

Шкала количественной оценки корректирования расчетных показателей с учетом качества информации
(по данным профессора Е. С. Кузнецова)

Характеристика информации	Класс информации	Коэффициенты	
		K_i^H	K_i^B
Имеется ограниченный опыт эксплуатации изделия (системы). Проведены приемочные испытания	10	0,8	1,2
Проведены приемочные испытания в лабораторных, заводских условиях	9	0,7	1,25
Имеется опыт эксплуатации или проведены приемочные испытания прототипов или аналогов со сходными принципами работы и процессами	8	0,7	1,3
Проведены приемочные испытания прототипов или аналогов со сходными принципами работы и процессами в лабораторных или заводских условиях	7	0,6	1,4
Имеется техническое задание	6	0,5	1,4
Проведены теоретические расчеты, имеется концепция системы или изделия	5	0,4	1,6
Проведена экспертная оценка	4	0,3	1,7
Имеется зарубежная информация о создании аналогичного изделия или системы	3	0,2	1,8
Имеются систематизированные суждения специалистов	2	0,1	1,9
Публикации в отдельных литературных источниках	1	0,07	2,0
Информация отсутствует или не обнаружена	0	—	—

На каждой стадии эксперты оценивают уровень риска качественно (высокий, средний, низкий), рассматривая следующие показатели:

- реальность идеи;
- наличие необходимых специалистов;
- качество управления;
- финансирование;
- безопасность;
- экологичность;
- взаимодействие с местными властями и населением;
- чувствительность к законодательству;
- готовность среды;
- приспособленность к среде.

1.9 Техничко-экономическое обоснование темы научного исследования

Научное исследование выполняется в определенной последовательности. Вначале формулируется сама тема в результате общего ознакомления с проблемой, в рамках которой предстоит выполнить исследование и разрабатывается основной исходный предплановый документ - технико-экономическое обоснование (ТЭО) темы. Только при наличии такого обоснования возможно дальнейшее планирование и финансирование темы заказчиком. В первом разделе ТЭО темы указываются причины разработки (ее обоснование), приводится краткий литературный обзор, в котором описываются уже достигнутый уровень исследования и ранее полученные результаты. Особое внимание уделяется еще нерешенным вопросам, обоснованию, актуальности и значимости исследования для отрасли и народного хозяйства страны. Такой обзор позволяет наметить методы решения, задачи и стадии исследования, определить конечную цель выполнения темы. Сюда входят патентная проработка темы и определение целесообразности закупки лицензии.

На стадии разработки ТЭО устанавливается область использования ожидаемых результатов НИР, возможность их практической реализации в данной отрасли, определяется предполагаемый (потенциальный) экономический эффект за период применения новой техники. Кроме экономического эффекта в ТЭО указываются предполагаемые социальные результаты (рост производительности труда, качества продукции, повышение уровня безопасности и производственной санитарии, обеспечение охраны природы и окружающей среды).

В результате составления ТЭО делается вывод о целесообразности и необходимости выполнения НИР. Техно-экономическое обоснование утверждается отраслевым министерством или ведомством. После утверждения ТЭО конкретизируются цели и задачи исследования. Составляется библиографический список отечественной и зарубежной литературы, научно-технических отчетов по теме различных организаций соответствующего профиля, составляются аннотации литературных источников и в случае необходимости рефераты по теме, уясняются явления, процессы, предметы, которые должны охватить конкретное исследование, а также методы исследования (экспериментальные, теоретические и т. д.).

Целью теоретических исследований является изучение физической сущности предмета. В результате обосновывается физическая модель, разрабатываются математические модели и анализируются полученные таким образом предварительные результаты.

Перед организацией экспериментальных исследований разрабатываются задачи, выбираются методика и программы эксперимента. Его эффективность существенно зависит от выбора средств измерений. При решении этих задач необходимо руководствоваться инструкциями и ГОСТами.

Принимаемые методические решения формулируются в виде методических указаний на проведение эксперимента.

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

После завершения теоретических и экспериментальных исследований проводится общий анализ полученных результатов, сопоставляются гипотезы с результатами эксперимента. В результате анализа расхождений уточняются теоретические модели. В случае необходимости проводятся дополнительные эксперименты. Затем формулируются научные и производственные выводы, составляется научно-технический отчет.

Следующей стадией разработки темы является внедрение результатов исследований в производство и определение их действительной экономической эффективности. Внедрение фундаментальных и прикладных научных исследований в производство осуществляется через разработки, проводимые, как правило, в опытно конструкторских бюро, проектных организациях, опытных заводах и мастерских. Разработки оформляются в виде опытно технологических или опытно конструкторских работ, включающих формулировки темы, цели и задачи разработки; изучение литературы, подготовку к техническому проектированию экспериментального образца, техническое проектирование (разработку вариантов технического проекта с расчетами и разработкой чертежей); изготовление отдельных блоков, их объединение в систему, согласование технического проекта и его технико-экономическое обоснование.

После этого выполняется рабочее проектирование (детальная проработка проекта): изготавливается опытный образец, производится его опробование, доводка, регулировка, стендовые и производственные испытания. После этого осуществляется доработка опытного образца (анализ производственных испытаний, переделка и замена отдельных узлов).

Успешное выполнение перечисленных стадий работы дает возможность представить образец к государственным испытаниям, в результате которых образец запускается в серийное производство.

Разработчики при этом осуществляют контроль и дают консультации.

Внедрение завершается оформлением акта экономической эффективности результатов исследования.

1.10 Этапы научного исследования

Научное исследование включает в себя ряд этапов.

1. Состояние вопроса исследования.
2. Теоретические исследования.
3. Экспериментальные исследования.
4. Анализ и обобщение результатов теоретических экспериментальных исследований.
5. Расчёт экономической эффективности и опытная опробация предлагаемых разработок.

Состояние вопроса исследования. В ходе реализации данного этапа проводятся патентно-лицензионный поиск, обзор и анализ НИР, НИОКР, монографий, статей по рассматриваемой проблеме. В результате формируются основные выводы и определяются цель и задачи исследования. Кроме того, в завершение данного этапа разрабатывается общая методика исследования.

Общая методика исследований представляет собой набор способов, способствующих последовательному наиболее эффективному осуществлению научного исследования.

Теоретические исследования. На данном этапе проводятся:

- формирование рабочей гипотезы исследования;
- обоснование, выбор и формирование целевой функции;
- анализ и выбор влияющих факторов;
- обоснование и выбор математического аппарата;
- аналитическое сравнение альтернатив развития исследуемого процесса.

Теоретические исследования – это исследования, основанные на аксиомах, законах, принципах, постулатах и теоремах, т.е. на технологических построениях, которые явились результатом

обобщения многовекового опыта. Ценность этих исследований состоит в том, что резко сокращаются затраты времени и средства на проведение НИР.

Для теоретических исследований нужны знания фундаментальных наук - математики, механики, кибернетики, химии, физики и т.д., а также методов математической формализации, т.е. четкого формального математического описания поведения изучаемого объекта с необходимой степенью приближения к действительности.

Необходимым условием для проведения теоретических исследований является наличие логических предпосылок и технических данных для математической формализации. Например, исследование влияния скорости агрегата на качество работ, исследование процесса буксования дисков.

При теоретических исследованиях используют теорию размерностей, планирование многофакторных экспериментов и системный анализ.

Экспериментальные исследования. На данном этапе разрабатывается методика экспериментальных исследований, монтируется экспериментальная установка, разрабатываются учетные анкеты, осуществляется сбор экспериментальных данных, обосновывается необходимость применения средств измерения, проверяется их точность, определяется количественное число опытных точек, намечаются критерии и методики обработки опытных данных.

Эксперимент – это научно поставленный опыт в точно учитываемых условиях, позволяющих следить за ходом явлений и воссоздать его каждый раз при повторении этих условий. При этом как условия, так и параметры исследуемого объекта могут меняться в наперед заданных границах.

Следовательно, эксперимент – это специально запланированный искусственный опыт, позволяющий вести исследование в желаемом для исследователя направлении.

Основной задачей эксперимента является не просто получение некоторых неизвестных ранее сведений и зависимостей о протекающих явлениях, что само по себе важно, а, главным образом, построение с помощью полученных данных математической модели объекта, то есть задача идентификации.

В большинстве своем исследования бывают экспериментально-теоретическими. Зачем же проводить теоретические исследования, если в этом случае необходимы еще и экспериментальные?

Основанием для проведения теоретических исследований служит то, что во-первых, объем и материальные затраты на проведение таких исследований значительно меньше, чем в случае, когда закономерности всецело устанавливались бы только на основании экспериментальных исследований, и, во-вторых, установленные теоретическим путем закономерности являются обычно более общими и находят более широкое применение, чем закономерности, установленные лишь на основании экспериментальных предпосылок.

Посредством экспериментальных исследований получают ценные сведения технического, технологического и производственного характера, которые используются как в практической деятельности, так и для научных обобщений и дальнейшего развития теории.

Для получения надежных, достоверных и точных результатов экспериментальных исследований при постановке таких исследований должны быть выполнены определенные требования: детально изучена физическая природа исследуемого объекта, явления или процесса; установлены доминирующие факторы и параметры объекта, обуславливающие протекание явлений и процессов и причинно-следственная связь между ними; установлены качественные и количественные показатели, по которым планируется оценивать характер функционирования исследуемого объекта; определены измеряемые величины, их размерности и способы измерения во время проведения опытов;

подобрана или разработана новая измерительная аппаратура с датчиками для измерения фиксируемых во время опытов величин, разработана методика их тарировки, установки и регистрации измеряемых показателей; разработана методика обработки первичной документации: измерений, таблиц, диаграмм, графиков и т.д.

В зависимости от технических особенностей объекта и целей его исследования экспериментальные исследования могут проводиться в различных условиях, например в лабораторных, лабораторно-полевых, и др.

Важным условием получения достоверных и точных результатов экспериментальных исследований является наличие соответствующих испытательных стендов, приборов и измерительной аппаратуры.

При планировании и проведении экспериментальных исследований используются:

- а) методы подобия и размерностей;
- б) планирование эксперимента;
- в) построение математических моделей.

В технике при экспериментах и в практических расчетах постоянно необходимо принимать во внимание различные обстоятельства, связанные с физическим подобием явлений и с размерностью рассматриваемых величин. Постройка самолетов, кораблей и многих других сложных технических сооружений основана на предварительных обширных исследованиях, среди которых важную роль играют испытания изделий. В теории подобия и размерности устанавливаются условия, которые должны соблюдаться в опытах с моделями, и выделяются характерные и удобные параметры, определяющие основные эффекты и режимы процессов. Вместе с тем сочетание соображений теории размерности и подобия с общим качественным анализом механизма физических явлений в ряде случаев может служить плодотворным теоретическим методом исследования.

В постановке опытов и вообще для практики очень важно выбрать безразмерные параметры. Число их должно быть минимальным, и взятые параметры должны отражать в наиболее удобной форме основные эффекты.

Возможность такого предварительного качественно-теоретического анализа и выбора системы определения безразмерных параметров дает теория размерности и подобия. Более того, в настоящее время грамотная постановка и обработка экспериментов немыслимы без учета вопросов подобия и размерности. Иногда в начальной стадии изучения некоторых сложных явлений теория размерности является единственно возможным теоретическим методом.

Методологической основой экспериментальных исследований в настоящее время служит быстро развивающаяся математическая теория планирования эксперимента, базирующаяся на идеях теории вероятностей и математической статистики.

В основе планирования эксперимента лежат три принципа фишеровской концепции:

- а) рандомизация или случайный порядок проведения опытов для борьбы с систематической ошибкой;
- б) повторение или репликация, обеспечивающее увеличение точности оценок и выделение слабых сигналов на фоне шума;
- в) разбиение плана на блоки, что дает возможность исключить влияние мешающих факторов (блокирование).

При этом первый принцип – рандомизация – является тем краеугольным камнем, который лежит в основе статистических методов планирования: она означает, что распределение экспериментального материала и порядок проведения опытов должны проводиться случайным образом (например, с использованием таблицы случайных чисел или латинских квадратов). Этим обеспечивается основное требование математической статистики: наблюдения должны быть независимыми случайными переменными. Рандомизация – это борьба с систематической ошибкой.

Второй принцип – повторение или репликация – позволяет экспериментатору получить оценку ошибки эксперимента (случайной погрешности)

Анализ и обобщение результатов исследований. На данном этапе проводятся обработка полученного экспериментального материала, сравнение его с результатами теоретических исследований. По результатам анализа формируются новые научные положения, выводы, заключения и предложения.

Существуют три типа статистических анализов:

а) регрессионный анализ, представляющий собой статистический метод анализа и обработки экспериментальных данных, содержащих количественные факторы. Он основан на сочетании метода наименьших квадратов и техники статистической проверки гипотез;

б) дисперсионный анализ - статистический метод анализа зависимости от качественных и количественных факторов, основан на технике статистической проверки гипотез;

в) ковариационный анализ – статистический метод анализа зависимости от количественных и качественных факторов, основан на сочетании элементов регрессионного и дисперсионного анализов.

Расчет экономической эффективности и опытная апробация предлагаемых разработок. На данном этапе проводится расчет экономической эффективности предложенных разработок или полученных результатов. Расчет экономической эффективности целесообразно проводить с государственных или общехозяйственных позиций с учетом социального эффекта (улучшение качества бытового обслуживания населения, качества перевозок пассажиров и т. д.).

Выводы, интерпретация и рекомендации. После анализа данных экспериментатор должен сделать выводы относительно полученных результатов и дать физическую (химическую) интерпретацию.

1.11 Основные цели и подходы научного исследования, сущность пассивного и активного эксперимента

Различают две основные цели научного исследования:

1) выяснение механизма научного явления (поиск математических, логических и других моделей);

2) определение оптимальных режимов функционирования объекта, системы (используется, когда известен механизм явления).

Детерминистский подход (ДП) – получение функциональных зависимостей между параметрами объекта; при этом исключаются внешние связи и исследуются все внутренние связи.

Под функциональной зависимостью понимается зависимость вида

$$Y = f(X, i), \quad (1.5)$$

при которой каждому значению функции Y соответствует одно вполне определенное значение фактора или аргумента X . Изучением таких зависимостей занимается математический анализ.

По результатам наблюдений составляется протокол наблюдений.

Допустим, исследователь сделал 10 наблюдений и получил следующие данные:

Вход (X).....	8	5	16	20	11	7	2	12	4	19
Выход (Y).....	25	16	49	61	34	22	7	37	13	58

Анализ этого протокола позволяет установить, что система функционирует в соответствии с уравнением $Y = 3X + 1$.

Достоинства ДП – получение модели можно распространять на похожие явления, известны внутренние закономерности.

Недостатки ДП – данный подход применяется лишь при несущественных допущениях, которые в практике исследования технических систем встречаются редко.

При экспериментально-статистическом подходе (ЭСП) одно и то же воздействие на объект исследования приводит к различным результатам, каждый из которых наступает с некоторой вероятностью.

В основе ЭСП лежит эксперимент по методу «черного ящика» (рис. 1.2), идея которого заключается в следующем:

1) исследуемый объект рассматривается как отдельная система окружающего мира, имеющая внешнюю среду;

2) внешняя среда воздействует на систему через входы

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_m); \quad (1.6)$$

3) система воздействует на внешнюю среду через выходы

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_n); \quad (1.7)$$

4) внутренние состояния системы характеризуются параметрами

$$S = (S_1, S_2, \dots, S_k). \quad (1.8)$$

К определенному моменту времени t будет иметь место следующая зависимость: $Y_t = f(X_t, S_t)$, т. е. состояния выходов определяются состояниями входов и внутренними состояниями системы. Следует отметить, часть входных параметров может быть управляемыми, а часть — будут составлять помехи.

Выходные параметры могут быть техническими или экономическими. В системе, считающейся «черным ящиком», структура и внутренние связи скрыты от наблюдателя. Исследователь фиксирует лишь состояния входов и выходов и анализирует наличие связи между ними. При этом используется протокол наблюдения.

Рассмотрим пример. Пусть дана система, считающаяся «черным ящиком». Она имеет один вход (X) и один выход (Y). Наблюдения за входом и выходом показали следующие результаты:

Вход (X).....	1	3	4	6	9	10	12	15	17	18
Выход (Y).....	3	9	14	21	27	34	35	49	50	53

Анализ результатов наблюдений показывает, что более высокой числовой характеристике входа соответствует большая числовая характеристика выхода. В данном случае Y превышает X приблизительно в 3 раза, т. е. имеет место статистическая зависимость.

Математическая обработка полученных результатов (с помощью метода наименьших квадратов) дает следующее уравнение регрессии:

$$Y = 1,47 + 2,95X. \quad (1.9)$$

Данная зависимость определена для вероятностной системы и является корреляционной зависимостью.

Корреляционная зависимость — это зависимость, при которой случайному значению аргумента соответствует случайное значение функции. Кроме того, в теории планирования эксперимента встречается *регрессионная зависимость*, при которой неслучайному значению аргумента соответствует случайное значение функции. Если фактические значения аргумента подставить в полученную формулу, то они не будут совпадать. Налицо определенные отклонения (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Расчетные и фактические состояния выхода

Состояние входа x_m	Фактическое состояние выхода, y_n	Расчетное состояние выхода, y'_n	Отклонение фактических значений от расчетных $y_n - y'_n$
1	3	4,4	-1,4
3	9	10,3	-1,3
4	14	13,3	+0,7
6	21	19,2	+1,8
9	27	28,0	-1,0
10	34	31,0	+3,0
12	35	36,9	-1,9
15	49	45,7	+3,3
17	50	51,6	-1,6
19	53	54,6	-1,6

Экспериментально-статистический подход позволяет установить вид зависимости и форму связи, определить коэффициенты модели и найти численные значения каждого из выходов.

Тип математической модели (вид зависимости) определяется простым перебором (модели линейного, степенного, экспоненциального, полиномиального и других типов). Подбор начинается с линейных моделей регрессионного типа. Адекватность модели исходным данным оценивается по коэффициентам множественной корреляции и детерминации и критерию Фишера. Преимущество отводится модели с наибольшим значением коэффициентов множественной корреляции и детерминации [3,4,5].

Таким образом, в результате ЭСП исследуется не сам объект, а результаты эксперимента. При этом возможен пассивный и активный эксперименты.

Пассивный эксперимент — исследователь не влияет на вход системы.

Достоинства:

- наблюдатель не нарушает хода процесса;
- можно использовать результаты ранее выполненных исследований.

Недостатки:

- требуется длительный период наблюдений;
- в силу коррелированности факторов затрудняется процедура определения коэффициентов модели;
- отсутствие симметричности уровней факторов затрудняет статистическую оценку значимости коэффициентов и проверку математической модели на адекватность.

Активный эксперимент — исследователь вмешивается в ход эксперимента, влияя на входы системы.

Достоинства: сокращается срок проведения эксперимента.

Недостатки: требует более детальной подготовки — планирования эксперимента.

Экспериментально-статистический подход используется, если:

- неизвестна зависимость;
- нужно найти коэффициенты в модели;
- нужно найти экстремум, не строя модель.

1.12 Вопросы для самоподготовки

1. Дайте определения понятия «наука» и ее составляющих.
2. По каким признакам классифицируется система научных знаний?
3. Назовите основные черты современной науки и дайте им краткую характеристику.
4. Дайте определение понятия «научное исследование».
5. По каким признакам классифицируются научные исследования?
6. Дайте краткую характеристику фундаментальным, прикладным исследованиям и научно-исследовательским разработкам.
7. Дайте определение понятия «научное исследование». Перечислите основные методы научного исследования.
8. В чем суть математического метода обоснования выбора темы научного исследования?
9. Дайте краткую характеристику основных этапов научного исследования.
10. Дайте краткую характеристику основных целей и подходов научного исследования.
11. Дайте краткую характеристику пассивного эксперимента.
12. Дайте краткую характеристику активного эксперимента

2 Применение закономерностей рассеяния непрерывных случайных величин при проведении исследований эксплуатационной надёжности автомобилей и других показателей их работы на автотранспортных предприятиях

2.1 Случайные величины и возможности обработки экспериментальных данных на их основе

Случайной называется величина, которая принимает в результате испытаний то или иное (но при этом только одно) возможное значение, заранее известное, меняющееся от испытания к испытанию и зависящее от случайных обстоятельств. В отличие от случайного события, являющегося качественной характеристикой случайного результата испытания, случайная величина характеризует результат испытания количественно. Примерами случайной величины могут служить размер обрабатываемой детали, погрешность результата измерения какого-либо параметра изделия или среды.

Среди случайных величин (СВ), с которыми приходится встречаться на практике, можно выделить два основных типа: дискретные величины и непрерывные.

Дискретной называется такая случайная величина, которая принимает конечное или бесконечное счетное множество значений (например, целочисленные величины, количество отказов во время обкатки автомобиля и т.д.).

Непрерывной называется такая случайная величина, которая может принимать любые значения из некоторого конечного или бесконечного интервала. Очевидно, число возможных значений непрерывной случайной величины бесконечно (например, время безотказной работы автомобиля, его агрегатов, погрешность изготовления деталей и т.д.).

Практически большинство экспериментальных данных, получаемых при исследованиях тех или иных характеристик работы автомобилей в эксплуатации, представляют собой непрерывные случайные величины (например, наработка до

наступления отказа или неисправности для отдельного автомобиля; трудоёмкость и затраты времени на устранение этого отказа или неисправности; значение диагностического параметра, отражающее техническое состояние контролируемого узла конкретного автомобиля после его определённого пробега, и т.д.).

Обработка таких данных в целях выявления их характеристик, которые затем можно распространять на другие подобные случаи использования автомобиля, для которых не проводились специальные исследования, проводимся методами статистики, часть из которых уже длительный период признана стандартными и не подвергается корректировке, другая часть разработана относительно недавно (30...50 лет назад) для повышения качества решения статистических задач.

В то же время потребности современной жизни приводят к необходимости дальнейшего совершенствования статистической обработки информации и специфики её использования. Очевидно, что указанный процесс будет продолжаться и далее, а освоение как старых, так и новых методов является необходимым для проведения качественных научных исследований во многих областях, в том числе и в области технической эксплуатации автомобильного транспорта.

Методы статистики, ранее используемые в основном в научных исследованиях и тяжело воспринимаемые в прежнее время из-за необходимости проведения сложных «многоэтажных» ручных расчётов, в настоящее время всё чаще употребляются для решения практических задач на уровне обычной производственной деятельности и бытовой жизни, что привело к необходимости резкого упрощения процессов их освоения и применения. Это стало возможным благодаря универсальным и специализированным компьютерным программам статистической обработки результатов эксперимента и упрощённым методикам их изучения, которые постоянно совершенствуются наряду с созданием новых, упрощающих процесс обучения и использования, главным образом, на основе примеров для широкого диапазона жизненных ситуаций.

Указанные программы имеют различные уровни интеграции и степени совершенства и требуют постоянного, в основном самостоятельного, изучения. В частности, такой программой следует считать интегрированную систему STATISTICA для среды WINDOWS, многие модули которой могут быть полезны для обработки результатов исследований в области эксплуатации автомобилей, а общее представление о возможностях этой программы, к сожалению попадающей к российскому пользователю в частично русифицированном варианте или только на английском языке, позволяет значительно повысить эрудицию исследователя.

Российскими исследователями разработано большое количество узкоспециализированных статистических программ различного назначения, в ряде случаев более простых в использовании и дающие лучшие в качественном отношении результаты, хотя и ограниченных по количеству рассматриваемых вариантов. В целом уже своеобразной «модой» считается обязательная обработка экспериментальных результатов путём использования компьютерных программ, дающих более широкий информационный выход при незначительных затратах времени, прежде всего из-за опасности ошибок ручного расчёта.

2.2 Обработка случайных величин, связанных с рассеянием изучаемого показателя, на примере изучения долговечности автомобильных деталей, узлов и агрегатов

Согласно стандартным рекомендациям [2] наиболее обоснованным подходом при оценке долговечности критических деталей, агрегатов, систем и узлов подвижного состава для конкретных условий эксплуатации является организация систематических наблюдений за работой достаточно представительной группы (выборки) автомобилей объёмом порядка $N=20\ldots 30$ единиц. За начало испытаний принимается или момент их начальной эксплуатации, или момент постановки на автомобили новых деталей, агрегатов и узлов; окончанием испытаний считается

момент наступления отказов обследуемых элементов у всех автомобилей выборочной партии. Такие испытания называются полными и дают в результате наиболее точные оценки показателей надёжности и долговечности в отличие от усечённых, проводимых по планам в целях сокращения продолжительности испытаний.

В результате полных испытаний обычно фиксируются значительно отличающиеся друг от друга выборочные значения x_i непрерывной случайной величины, при дальнейшей обработке которых находят её основные характеристики или статистики. К ним относятся:

- а) числовые характеристики СВ;
- б) закон распределения СВ.

При обработке результатов эксперимента, в первую очередь, производят оценку числовых характеристик СВ. Различают числовые характеристики положения и рассеяния СВ.

К характеристикам положения относятся математическое ожидание, медиана и мода, а к характеристикам рассеяния размах, дисперсия, стандартное (среднеквадратическое) отклонение, коэффициент вариации, асимметрия и эксцесс.

Стандартная обработка представляет собой последовательные оценки

математического ожидания, размаха, дисперсии, среднеквадратического отклонения, коэффициентов вариации, асимметрии и эксцесса, а понятие моды и медианы приобретают информационное значение только после графической интерпретации СВ и определения её закона распределения.

Закон распределения полностью характеризует случайную величину с вероятностной точки зрения. Но при решении ряда практических задач нет необходимости знать все возможные значения случайной величины и соответствующие им вероятности, а удобнее пользоваться некоторыми количественными показателями. Такие показатели называются *числовыми характеристиками случайной величины*. Основными из них

являются математическое ожидание, дисперсия, моменты различных порядков, мода и медиана.

Математическое ожидание иногда называют просто средним значением случайной величины. Рассмотрим дискретную случайную величину X , принимающую значения $x_1, x_2, \dots, x_n$ с вероятностями $p_1, p_2, \dots, p_n$. Определим среднюю арифметическую значений случайной величины, взвешенных по вероятностям их появлений. Таким образом, вычислим среднее значение случайной величины, или ее математическое ожидание, которое будем обозначать через $M(x)$:

$$M(x) = \frac{x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad (2.1)$$

Учитывая, что $\sum_{i=1}^n p_i = 1$, получим

$$M(x) = \sum_{i=1}^n x_i p_i \quad (2.2)$$

Итак, *математическим ожиданием* дискретной случайной величины называется сумма произведений всех ее возможных значений на их вероятности.

Пример 1. Найти математическое ожидание числа бракованных изделий в выборке из пяти изделий, если случайная величина X (число бракованных изделий) задана рядом распределения:

0	1	2	3	4	5
0,2373	0,3955	0,2637	0,0879	0,0146	0,0010

Решение. По формуле (2.2) находим

$$M(x) = 0 \cdot 0,2373 + 1 \cdot 0,3955 + 2 \cdot 0,2637 + 3 \cdot 0,0879 + 4 \cdot 0,0146 + 5 \cdot 0,0010 = 1,25$$

Модой M_0 дискретной случайной величины называется наиболее вероятное ее значение рис. 2.2.

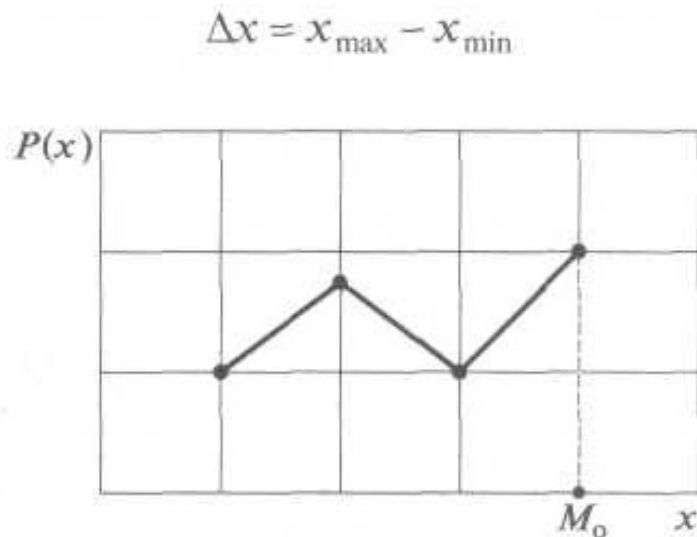


Рис. 2.1 Графическая интерпретация моды дискретной СВ

Модой M_0 непрерывной случайной величины называется такое ее значение, при котором плотность распределения имеет максимум. Геометрически моду можно интерпретировать как абсциссу точки максимума кривой распределения рис. 2.3.

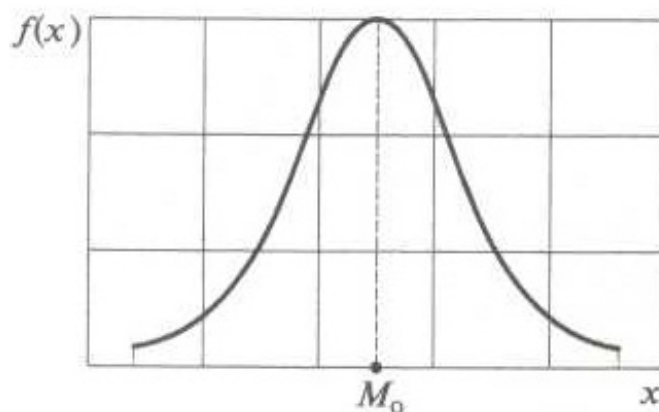


Рис. 2.2 Графическая интерпретация моды непрерывной СВ

Медианой M_e случайной величины называется такое ее значение, для которого справедливо равенство:

$$P\{X < M_e\} = P\{X > M_e\}, \quad (2.3)$$

то есть равновероятно, что случайная величина окажется меньше или больше медианы. С геометрической точки зрения медиана - это абсцисса точки, в которой площадь, ограниченная кривой распределения, делится пополам (см. рис. 2.4).

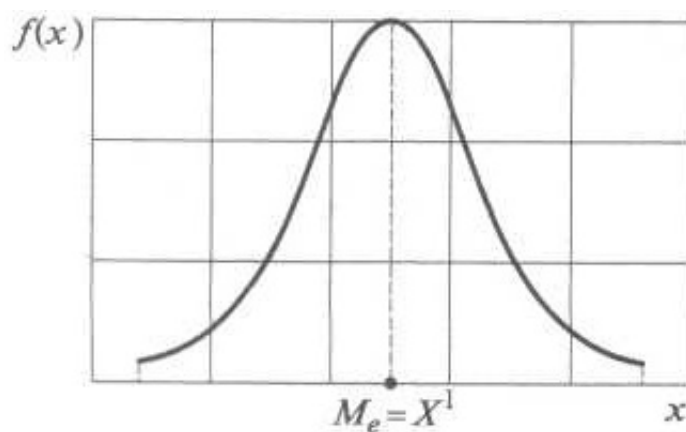


Рис. 2.3 Графическая интерпретация медианы СВ

Так как вся площадь, ограниченная кривой распределения и осью абсцисс, равна единице, то функция распределения в точке, соответствующей медиане, равна 0,5:

$$F(M_e) = P\{X < M_e\} = 0,5.$$

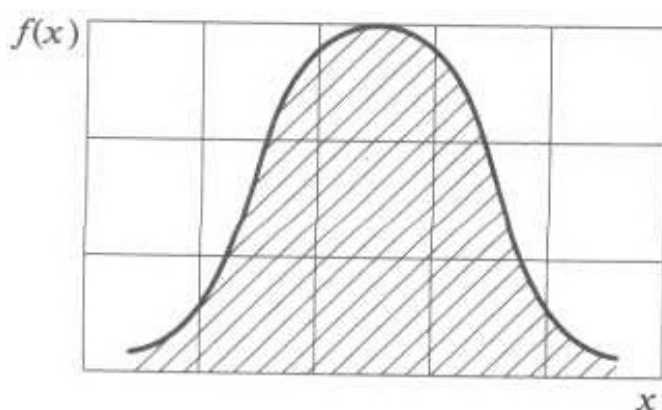


Рис. 2.4 Графическая интерпретация плотности распределения

С помощью дисперсии и среднеквадратического отклонения можно судить о рассеивании случайной величины вокруг математического ожидания. В качестве меры рассеивания случайной величины берут математическое ожидание квадрата отклонения случайной величины от ее математического ожидания, которое называют *дисперсией случайной величины X* и обозначают через σ_x^2 :

$$\sigma_x^2 = M\{[x - M(x)]^2\}. \quad (2.4)$$

Для дискретной случайной величины дисперсия равна сумме произведений квадратов отклонений значений случайной величины от ее математического ожидания на соответствующие вероятности:

$$\sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - M(x))^2 \cdot p_i \quad (2.5)$$

Для непрерывной случайной величины, закон распределения которой задан в виде плотности вероятности $f(x)$, дисперсия

$$\sigma_x^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - M(x))^2 f(x) dx \quad (2.6)$$

Через функцию распределения $F(x)$ дисперсия выражается следующим образом:

$$\sigma_x^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - M(x))^2 dF(x) \quad (2.7)$$

Недостатком дисперсии является то, что она имеет размерность квадрата случайной величины, и ее нельзя геометрически интерпретировать. Этим недостатком лишено среднее квадратическое отклонение случайной величины, которое представляет собой положительный квадратный корень из дисперсии:

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2} \quad (2.8)$$

Пример 2. Вычислить дисперсию числа бракованных изделий для распределения, приведенного в примере 1.

Решение. По определению дисперсии имеем

$$\sigma_x^2 = (0 - 1,25)^2 \cdot 0,2373 + (1 - 1,25)^2 \cdot 0,3955 + (2 - 1,25)^2 \cdot 0,2637 + \\ + (3 - 1,25)^2 \cdot 0,0879 + (4 - 1,25)^2 \cdot 0,0146 + (5 - 1,25)^2 \cdot 0,010 = 0,938$$

Обобщением основных числовых характеристик случайной величины является понятие моментов случайной величины.

Начальным моментом q -го порядка случайной величины называют математическое ожидание величины X^q :

$$\nu_q = M(X^q) \quad (2.9)$$

Начальный момент дискретной случайной величины

$$\nu_q = \sum_{i=1}^n x_i^q p_i; \quad (2.10)$$

начальный момент непрерывной случайной величины

$$\nu_q = \int_{-\infty}^{\infty} x^q f(x) dx \quad (2.11)$$

Центральным моментом q -го порядка случайной величины называют математическое ожидание величины $[X - M(x)]^q$:

$$\mu_q = M[(x - M(x))^q]. \quad (2.12)$$

Центральный момент дискретной случайной величины

$$\mu_q = \sum_{i=1}^n (x_i - M(x))^q p_i; \quad (2.13)$$

Центральный момент непрерывной случайной величины

$$\mu_q = \int_{-\infty}^{\infty} (x - M(x))^q f(x) dx. \quad (2.14)$$

Начальный момент первого порядка представляет собой математическое ожидание, а центральный момент второго порядка - дисперсию случайной величины.

Нормированный центральный момент третьего порядка служит характеристикой скошенности или асимметрии распределения (коэффициент *асимметрии*):

$$A = \frac{\mu_3}{\sigma^3}. \quad (2.15)$$

Нормированный центральный момент четвертого порядка служит характеристикой островершинности или плосковершинности распределения (*эксцесс*):

$$E = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3. \quad (2.16)$$

К числовым характеристикам рассеивания СВ относятся размах, дисперсия, среднее квадратическое отклонение, коэффициенты вариации, асимметрии и эксцесса.

Вариация — это различия индивидуальных значений признака у единиц изучаемой совокупности. Исследование вариации имеет большое практическое значение и является необходимым звеном в экономическом анализе. Необходимость изучения вариации связана с тем, что средняя, являясь равнодействующей, выполняет свою основную задачу с разной степенью точности: чем меньше различия индивидуальных значений признака, подлежащих осреднению, тем однороднее

совокупность, а, следовательно, точнее и надежнее средняя, и наоборот.

Следовательно, по степени вариации можно судить о границах вариации признака, однородности совокупности по данному признаку, типичности средней, взаимосвязи факторов, определяющих вариацию.

Изменение вариации признака в совокупности осуществляется с помощью **абсолютных и относительных** показателей.

Абсолютные показатели вариации включают:

- размах вариации R
- среднее линейное отклонение $\bar{d}$
- дисперсию σ^2
- среднее квадратическое отклонение σ

Размах вариации — это разность между максимальным и минимальным значениями признака

$$R = X_{max} - X_{min} \quad (2.17)$$

Он показывает пределы, в которых изменяется величина признака в изучаемой совокупности.

Пример 3

Опыт работы у пяти претендентов на предшествующей работе составляет: 2, 3, 4, 7 и 9 лет.

Решение: размах вариации = $9 - 2 = 7$ лет.

Для обобщенной характеристики различий в значениях признака вычисляют средние показатели вариации, основанные на учете отклонений от средней арифметической. За отклонение от средней принимается разность $(x_i - \bar{x})$.

При этом во избежании превращения в нуль суммы отклонений вариантов признака от средней (нулевое свойство средней) приходится либо не учитывать знаки отклонения, то есть брать эту сумму по модулю $\sum |x_i - \bar{x}|$, либо возводить значения отклонений в квадрат $\sum |x_i - \bar{x}|^2$

Вариация альтернативного признака заключается в наличии или отсутствии изучаемого свойства у единиц совокупности. Количественно вариация альтернативного признака

выражается двумя значениями: наличие у единицы изучаемого свойства обозначается единицей (1), а его отсутствие — нулем (0). Долю единиц, обладающих изучаемым признаком, обозначают буквой p , а долю единиц, не обладающих этим признаком — через q . Учитывая, что $p + q = 1$ (отсюда $q = 1 - p$), а среднее значение альтернативного признака равно p

$$(\bar{x} = \frac{1 \cdot p + 0 \cdot q}{p + q}), \quad (2.18)$$

средний квадрат отклонений

$$\sigma_p^2 = \frac{(1-p)^2 p + (0-p)^2 q}{p+q} = pq \quad (2.19)$$

Таким образом, дисперсия альтернативного признака равна произведению доли единиц, обладающих данным свойством (p), на долю единиц, данным свойством не обладающих (q).

Максимальное значение средний квадрат отклонения (дисперсия) принимает в случае равенства долей, т.е. когда $p = q = 0,5$ т.е. $\sigma^2 = 0.25$. Нижняя граница этого показателя равна нулю, что соответствует ситуации, при которой в совокупности отсутствует вариация. Среднее квадратическое отклонение альтернативного признака:

$$\sigma_p = \sqrt{pq} = \sqrt{p(1-p)} \quad (2.20)$$

Так, если в изготовленной партии 3% изделий оказались нестандартными, то дисперсия доли нестандартных изделий $\sigma^2 = 0.03 \cdot 0.97 = 0.0291$, а среднее квадратическое отклонение $\sigma = \sqrt{0.0291} = 0.1706$ или 17,1%.

Среднее квадратическое отклонение σ равно квадратному корню из среднего квадрата отклонений отдельных значений признака от средней арифметической.

$$\sigma = \sqrt{\delta^2} \quad (2.21)$$

Относительные показатели вариации включают:

- Коэффициент осцилляции V_r

- Относительное линейное отклонение (линейный коэффициент вариации) V_d

- Коэффициент вариации (относительное отклонение) V_σ

Сравнение вариации нескольких совокупностей по одному и тому же признаку, а тем более по различным признакам с помощью абсолютных показателей не представляется возможным. В этих случаях для сравнительной оценки степени различия строят относительные показатели вариации. Они вычисляются как отношения абсолютных показателей вариации к средней:

Коэффициент осцилляции	$V_r = \frac{R}{\bar{x}}$
Относительное линейное отклонение	$V_d = \frac{\bar{d}}{\bar{x}}$
Коэффициент вариации	$V_\sigma = \frac{\bar{\sigma}}{\bar{x}}$

Рассчитываются и другие относительные характеристики. Например, для оценки вариации в случае асимметрического распределения вычисляют отношение среднего линейного отклонения к медиане

$$V_{Me} = \frac{\bar{d}}{Me}, \quad (2.22)$$

так как благодаря свойству медианы сумма абсолютных отклонений признака от ее величины всегда меньше, чем от любой другой.

В качестве относительной меры рассеивания, оценивающей вариацию центральной части совокупности, вычисляют относительное квартильное отклонение $V_g \frac{Q}{Me}$, где Q - средний квартиль полусуммы разности третьего (или верхнего) квартиля (Q_3) и первого (или нижнего) квартиля (Q_1).

$$Q = \frac{Q_3 - Q_1}{2}. \quad (2.23)$$

На практике чаще всего вычисляют коэффициент вариации. Нижней границей этого показателя является нуль, верхнего предела он не имеет, однако известно, что с увеличением вариации признака увеличивается и его значение. Коэффициент вариации

является в известном смысле критерием однородности совокупности (в случае нормального распределения).

Для получения представления о форме распределения используются показатели среднего уровня средняя арифметическая, мода, медиана, показатели вариации, ассиметрии и эксцесса.

В симметричных распределениях средняя арифметическая, мода и медиана совпадают ($\bar{X} = M_e = M_0$.) Если это равенство нарушается - распределение ассиметрично.

Простейшим показателем ассиметрии является разность $\bar{x} - M_0$, которая в случае правосторонней ассиметрии положительна, а при левосторонней — отрицательна.

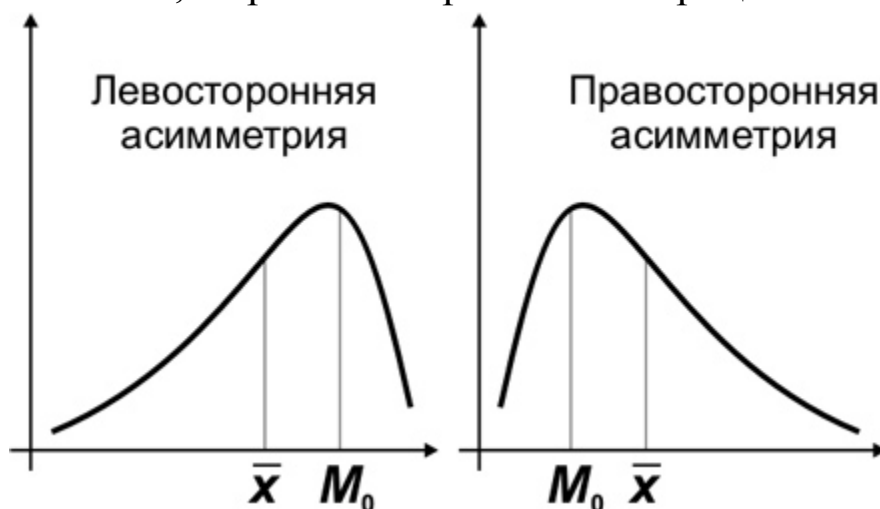


Рис. 2.5 Ассиметричное распределение

Для сравнения ассиметрии нескольких рядов вычисляется относительный показатель

$$A = \frac{\bar{x} - M_0}{\sigma} \quad (2.24)$$

В качестве обобщающих характеристик вариации используются **центральные моменты распределения R -го порядка μ_R** , соответствующие степени, в которую возводятся отклонения отдельных значений признака от средней арифметической:

Для несгруппированных данных:

$$\mu_R = \frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^R}{n} \quad (2.25)$$

Для сгруппированных данных:

$$\mu_R = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^R f_i}{\sum f_i} \quad (2.26)$$

Момент первого порядка $R=1$ согласно свойству средней арифметической равен нулю $m_1=0$.

Момент второго порядка $R=2$ является дисперсией $m_2=s^2$.

Моменты третьего m_3 и четвертого m_4 порядков используются для построения показателей, оценивающих особенности формы эмпирических распределений.

С помощью момента третьего порядка измеряют степень скошенности или асимметричности распределения.

$$A_S = \frac{\mu_3}{\sigma_3} \quad (2.27)$$

A_S — коэффициент асимметрии

В симметричных распределениях $A_S=0$, как все центральные моменты нечетного порядка. Неравенство нулю центрального момента третьего порядка указывает на асимметричность распределения. При этом, если $A>0$, то асимметрия правосторонняя и относительно максимальной ординаты вытянута правая ветвь; если $A_S<0$, то асимметрия левосторонняя (на графике это соответствует вытянутости левой ветви).

Для характеристики островершинности или плосковершинности распределения вычисляют отношение момента четвертого порядка (m_4) к среднеквадратическому отклонению в четвертой степени (s_4). Для нормального распределения $\frac{\mu_4}{\sigma_4}$, поэтому эксцесс находят по формуле:

$$E = \frac{\mu_4}{\sigma_4} - 3 \quad (2.28)$$

Для нормального распределения E обращается в нуль.

Для островершинных распределений $E>0$, для плосковершинных $E<0$.

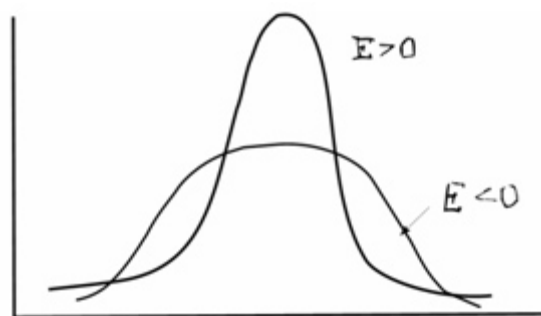


Рис. 2.6 Эксцесс распределения

Кроме показателей, рассмотренных выше, обобщающей характеристикой вариации в однородной совокупности служит определенный порядок в изменении частот распределения в соответствии с изменениями величины изучаемого признака, называемый **закономерностью распределения**.

Характер (тип) закономерности распределения может быть выявлен путем построения вариационного ряда на основании большого объема наблюдений, а также такого выбора числа групп и величины интегралов, при котором наиболее отчетливо могла бы проявиться закономерность.

Анализ вариационных рядов предполагает выявление характера распределения (как результата действия механизма вариации), установление функции распределения, проверку соответствия эмпирического распределения теоретическому.

Эмпирическое распределение, полученное на основе данных наблюдения, графически изображается эмпирической кривой распределения с помощью полигона.

На практике встречаются различные типы распределений, среди которых можно выделить симметричные и асимметричные, одновершинные и многовершинные.

Установить тип распределения означает выразить механизм формирования закономерности в аналитической форме. Многим явлениям и их признакам свойственны характерные формы распределения, которые аппроксимируются соответствующими кривыми. При всем многообразии форм распределения наибольшее распространение в качестве теоретических получили нормальное

распределение, распределение Пуассона, биномиальное распределение и др.

Особое место в изучении вариации принадлежит нормальному закону, благодаря его математическим свойствам. Для нормального закона выполняется правило трех сигм, по которому вариация индивидуальных значений признака находится в пределах $\pm 3\sigma$ от величины средней. При этом в границах $\bar{x} \pm \sigma$ находится около 70% всех единиц, а в пределах $\bar{x} \pm 2\sigma$ — 95%.

Оценка соответствия эмпирического и теоретического распределений производится с помощью критериев согласия, среди которых широко известны критерии Пирсона, Романовского, Ястремского, Колмогорова.

Функция распределения вероятностей и ее свойства.

Случайные величины обычно обозначают буквами X, Y и т. д., а их возможные значения — x, y и т. д. Для задания случайной величины недостаточно перечислить все ее возможные значения. Необходимо также знать, как часто могут появиться те или иные ее значения в результате испытаний при одних и тех же условиях, т. е. нужно задать вероятности их появления. Совокупность всех возможных значений случайной величины и соответствующих им вероятностей составляет распределение случайной величины.

Функция распределения является наиболее общей формой задания закона распределения. Она используется для задания как дискретных, так и непрерывных случайных величин. Обычно ее обозначают $F(x)$.

Функция распределения определяет вероятность того, что случайная величина X принимает значения, меньшие фиксированного действительного числа x , т. е. $F(x) = P\{X < x\}$. Функция распределения полностью характеризует случайную величину с вероятностной точки зрения. Ее еще называют интегральной функцией распределения.

Геометрическая интерпретация функции распределения очень проста. Если случайную величину рассматривать как случайную точку X оси Ox , которая в результате испытания может занять то

или иное положение на этой оси, то функция распределения $F(x)$ есть вероятность того, что случайная точка X в результате испытания попадет левее точки X .

Для дискретной случайной величины X , которая может принимать значения $x_1, x_2, \dots, x_n$, функция распределения имеет вид

$$F(x) = \sum_{x_i < x} P\{X = x_i\}, \quad (2.29)$$

где неравенство $x_i < x$ под знаком суммы означает, что суммирование распространяется на все те значения x_i , которые по своей величине меньше x . Из этой формулы следует, что функция распределения дискретной случайной величины X разрывна и возрастает скачками при переходе через точки $x_1, x_2, \dots, x_n$, причем величина скачка равна вероятности соответствующего значения.

Сумма всех скачков функции распределения равна единице.

Непрерывная случайная величина имеет непрерывную функцию распределения, график этой функции имеет форму плавной кривой (рис. 2.7).

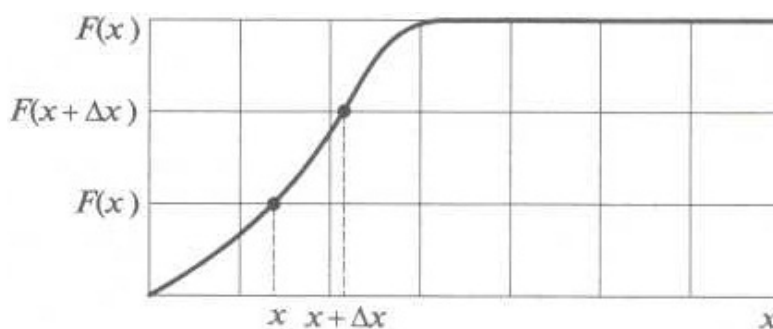


Рис. 2.7 Графическая интерпретация функции распределения

Плотность распределения вероятности и ее свойства

Функция распределения непрерывной случайной величины является ее вероятностной характеристикой. Но она имеет недостаток, заключающийся в том, что по ней трудно судить о характере распределения случайной величины в небольшой окрестности той или другой точки числовой оси. Более наглядное представление о характере распределения непрерывной случайной величины дает функция, которая называется плотностью

распределения вероятности или дифференциальной функцией распределения случайной величины.

Плотность распределения $f(x)$ равна производной от функции распределения $F(x)$, т. е.

$$f(x) = F'(x). \quad (2.30)$$

Смысл плотности распределения $f(x)$ состоит в том, что она указывает на то, как часто появляется случайная величина X в некоторой окрестности точки x при повторении опытов. Кривая, изображающая плотность распределения $f(x)$ случайной величины, называется *кривой распределения* (рис. 2.8).

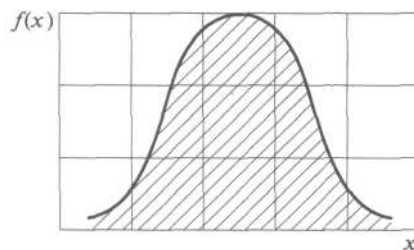


Рис. 2.8 Графическая интерпретация плотности распределения

2.3 Графическая интерпретация случайных величин и построение гистограмм

При обработке результатов экспериментальных исследований для их наглядности и дальнейшего анализа более удобно переходить к графическому представлению. Наиболее распространенным способом графического представления является построение гистограммы распределения случайной величины, которое выполняется по следующей методике:

- определяются максимальное x_{max} и минимальное x_{min} значения показателей выборки;
- находится размах Δx случайной величины, представляющий собой разность между ее максимальным и минимальным значениями

$$\Delta x = x_{max} - x_{min} \quad (2.31)$$

- определяется количество интервалов, которое должно стремиться к числу

$$k = 1 + 3.3 \sqrt[3]{N}; \quad (2.32)$$

- определяется величина интервала:

$$\delta = \frac{\Delta x}{k} = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + 3,3 \lg N}; \quad (2.33)$$

- подсчитывается количество наблюдений n_j , находящееся в каждом интервале;
- вычисляются частоты попадания наблюдений в каждый интервал

$$p_j = \frac{n_j}{N}, \quad j = 1, 2, \dots, k. \quad (2.34)$$

При этом очевидным является следующее соотношение:

$$\sum_{j=1}^k p_j = 1. \quad (2.35)$$

По значениям n_j строят гистограмму, показывая по оси абсцисс интервалы разбиения выборки, а по оси ординат - количество попавших в интервалы данных, представляя последние графически в виде «столбиков» от основания соответствующих интервалов.

С помощью полученной закономерности в форме гистограммы можно осуществлять прогноз. Например, число автомобилей потребоющих замены тормозных колодок, которые достигнут предельного состояния износа в заданном интервале пробега.

Для примера рассмотрим построение гистограммы для выборки значений пробега автомобиля до износа колодок, приведенной в таблице 2.1 (единица измерения - тыс. км).

Таблица 2.1.

96,5	97,7	97,8	97,6	97,5	98,3	97,5	98,4	97,8
98,0	97,8	98,3	98,5	97,4	97,0	97,0	98,5	98,4
97,5	97,7	98,5	96,8	97,8	98,0	97,0	98,4	98,3
97,7	97,0	97,9	97,6	96,8	97,8	97,9	98,3	98,1
97,4	97,6	97,5	97,7	97,5	97,3	97,7	97,9	96,9
97,2	97,5	98,2	97,8	98,1	97,3	97,3	97,5	97,4
98,3	98,8	97,4	97,4	97,0	97,4	98,7	96,9	97,5

Для начала по данным таблицы 2.1 определяем максимальное и минимальное значение пробега L .

$$L_{\min} = 96,5; L_{\max} = 98,7;$$

Находим размах

$$\Delta = L_{\max} - L_{\min} = 98,7 - 96,5 = 2,2.$$

Определяем необходимое число интервалов

$$K \approx 1 + 3,3 \sqrt[3]{N} = 1 + 3,3 \sqrt[3]{63} = 6,75 \approx 7.$$

Определяем величину интервала

$$\delta = \frac{\Delta}{K} = \frac{2,2}{7} \approx 0,320$$

и строим интервалы

$$\begin{aligned} &96,5 - 96,82 \quad 96,82 - 97,14 \quad 97,14 - 97,46 \quad 97,46 - 97,78 \\ &97,78 - 98,10 \quad 98,10 - 98,42 \quad 98,42 - 98,74 \end{aligned}$$

Определяем количество наблюдений в каждом интервале n_j и частоты попадания наблюдений в каждый интервал p_j .

По граничным значениям интервалов и количеству попадания в них экспериментальных данных n_j строим гистограмму распределения (рис.2.9).



Рис. 2.9 Гистограмма и соответствующая ей теоретическая кривая распределения коэффициента регулярности движения в дифференциальной форме

В другом масштабе и обозначениях величин для оси ординат эта гистограмма одновременно отражает опытные (эмпирические) частоты (вероятности) p_j попадания случайной величины в заданные интервалы.

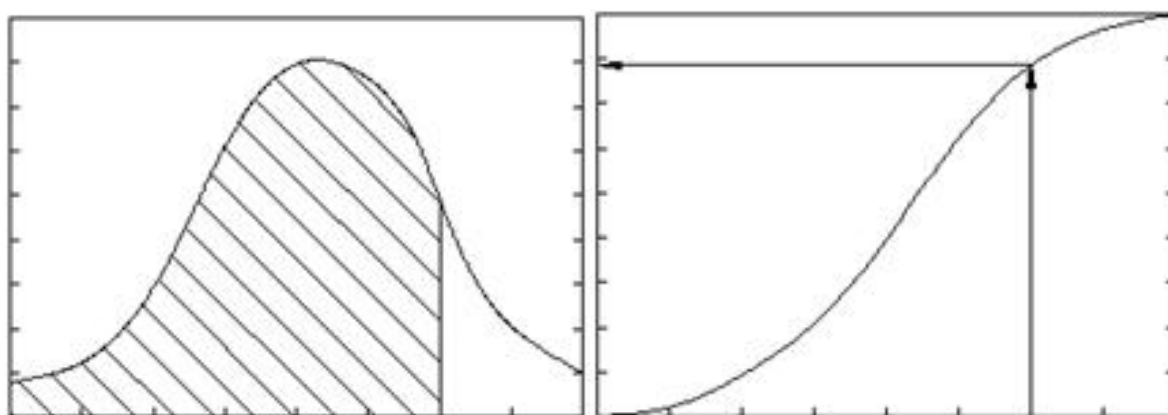
Интегральная функция, или более употребительное выражение - функция распределения случайной величины $F(x)$, является наиболее важной, поскольку в основном используется при статистических расчетах, при ее использовании нет необходимости определять площади, а искомые показатели находят по оси ординат.

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx \quad (2.36)$$

Для ее построения по оси абсцисс откладывают в масштабе значения случайной величины, а по оси ординат накопленную опытную вероятность

$$\sum_{i=1}^n p_i \quad (\text{Рис. 2.10}) \quad (2.37)$$

Рис. 2.10. Графическая интерпретация процесса обработки непрерывной случайной величины



при использовании дифференциальной и интегральной функции распределения.

Интегральная функция $F(x)$ имеет следующие свойства:

1. $0 \leq F(x) \leq 1$;
2. $F(x)$ – возрастающая функция, т.е. $F(x + \Delta x) \geq F(x)$.
3. При $X = -\infty$ $F(x) = 0$, а при $X = +\infty$ $F(x) = 1$;
4. Вероятность того, что значение случайной величины X заключено в интервале x и $x + \Delta x$, обычно определяется через функцию $F(x)$:

$$P(x \leq X \leq x + \Delta x) = \int_x^{x + \Delta x} f(x) dx = F(x + \Delta x) - F(x).$$

Нормальное распределение (рис.2.11) возникает в том случае, когда результат испытания является следствием влияния большого числа факторов, среди которых нет доминирующих, а объем наблюдений достаточно велик. Это 2-х параметрическое распределение (параметры $\bar{x}$ и $\sigma(D)$).

Для нормального закона распределения общей оценочной характеристикой является дисперсия:

$$D = \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (2.38)$$

где σ – среднее квадратичное отклонение измеренных значений x_i от среднеарифметического $\bar{x}$; n – число измерений.

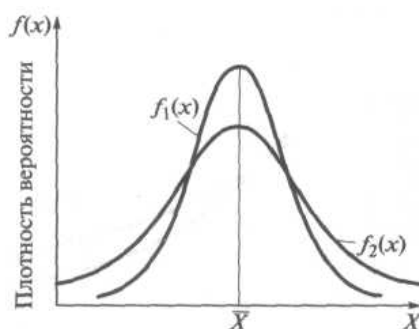


Рис.2.11. Графическая интерпретация нормального распределения

Дисперсия характеризует однородность измерения: чем выше D , тем больше разброс измерений.

Плотность распределения вероятностей имеет вид, широко известный как функция Гаусса:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (2.39)$$

Нормальное распределение применяется для описания отказов, вызванных изнашиванием или постепенным накоплением неисправностей, когда доля внезапных отказов мала, а так же многих других процессов технической эксплуатации автомобилей

(периодичность ТО, расход однородных эксплуатационных материалов, рассеяние значений диагностического параметра для исправного состояния, и т.д.). Поскольку он может обрабатывать и отрицательные случайные величины, его широко применяют во многих областях практической и научной деятельности. Закон является симметричным относительно среднего значения. Хотя закон имеет самое большое распространение, его недостатком является сложность выполнения расчетов из-за невозможности непосредственного интегрирования, поэтому для этих целей используется метод, разработанный Лапласом, который ввел подстановку, позволяющую перейти к так называемому центрированному нормированному распределению, имеющему $\bar{x} = 0$ и $\sigma = 1$:

$$t = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} ; \quad (2.40)$$

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 0,5 + \Phi(z) \quad (2.41)$$

Показатель вероятности 0,5 соответствует, в силу симметричности нормированного распределения относительно математического ожидания $X = 0$, значению интеграла в отрицательном диапазоне от $-\infty$ до нуля, который нецелесообразно вычислять. Для положительных аргументов соответствующее значение вероятности находится через интеграл или функцию Лапласа:

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt , \quad (2.42)$$

которая была вычислена ее автором через ряд Тейлора и представлена в виде таблицы (см. Приложение 1, [1]). При использовании функции Лапласа справедливо соотношение:

$$\Phi(-z) = -\Phi(z)$$

Рассмотрим пример:

Фиксировалось время между отказами агрегата автомобиля.

В результате были получены следующие статистические характеристики: $\bar{x} = 36,3$ часа; $\sigma = 3,3$ часа. Необходимо определить вероятность попадания случайной величины в интервал $\bar{x} \pm 5$ часов.

Решение задачи сводится к следующему.

Определяется нормированное значение случайной величины в крайних точках интервала

$$z_1 = \frac{x_1 - \bar{x}}{\sigma} = \frac{31,3 - 36,3}{3,3} = -1,515;$$

$$z_2 = \frac{x_2 - \bar{x}}{\sigma} = \frac{41,3 - 36,3}{3,3} = 1,515.$$

По таблице приложения 1 определяются значения функции Лапласа в граничных точках интервала:

$$\Phi(z_1) = \Phi(-1,515) = -0,435;$$

$$\Phi(z_2) = \Phi(1,515) = 0,435;$$

Определяются значения функции распределения в граничных точках интервала:

$$F(x_1) = F(31,35) = 0,5 + \Phi(z_1) = 0,5 - 0,435 = 0,065;$$

$$F(x_2) = F(41,35) = 0,5 + \Phi(z_2) = 0,5 + 0,435 = 0,935.$$

Определяется вероятность попадания случайной величины в интервал $X \pm 5$:

$$P\{x_1 \leq X \leq x_2\} = P\{31,3 \leq X \leq 41,3\} = F(x_2) - F(x_1) = F(41,3) - F(31,3) = 0,935 - 0,065 = 0,87$$

или

$$\Phi(z_2) - \Phi(z_1) = 0,435 - (-0,435) = 0,87$$

Проверка нормальности распределения может производиться с посредством сравнения коэффициентов асимметрии и эксцесса с их стандартными отклонениями.

Коэффициент асимметрии:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n \cdot \sigma^{3/2}} \quad (2.43)$$

Характеризует скошенность графической функции плотности распределения вероятностей. При $A = 0$, функция симметрична; при $A > 0$ - вытянут правый, а при $A < 0$ - левый участок спада кривой.

Коэффициент эксцесса:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{n \cdot \sigma^2} - 3 \quad (2.44)$$

характеризует степень остроты пика кривой функции плотности распределения вероятностей в сравнении нормальным законом распределения. Если $E > 0$, более острый пик, если $E < 0$ – пик менее острый.

Стандартные отклонения:

$$S(A) = \sqrt{\frac{6 \cdot (n-1)}{(n+1) \cdot (n+3)}}, \quad (2.45)$$

$$S(E) = \sqrt{\frac{24 \cdot (n-2) \cdot (n-3)}{(n-1)^2 \cdot (n+3) \cdot (n+5)}}. \quad (2.46)$$

Если $|A| < 1,5S(A)$ и $|E| < 1,5S(E)$, то распределение можно считать нормальным.

2.4 Законы распределения случайных величин

Законом распределения случайной величины называется всякое соответствие между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями.

Про случайную величину говорят, что она подчиняется данному закону распределения.

Две случайные величины называются *независимыми*, если закон распределения одной из них не зависит от того, какие возможные значения приняла другая величина.

В противном случае случайные величины называются *зависимыми*. Несколько случайных величин называются *взаимно независимыми*, если законы распределения любого числа из них не зависят от того, какие возможные значения приняли остальные величины.

Закон распределения случайной величины может быть задан в виде таблицы, в виде функции распределения, в виде плотности распределения. Таблица, содержащая возможные значения случайной величины и соответствующие вероятности, является простейшей формой задания закона распределения случайной величины:

X	x_1	x_2	x_3	...	x_{n-1}	x_n
P	P_1	P_2	P_3	...	P_{n-1}	P_n

Табличное задание закона распределения может быть использовано только для дискретной случайной величины с конечным числом возможных значений. Табличная форма задания закона случайной величины называется также рядом распределения.

Для наглядности ряд распределения представляют графически. При графическом изображении в прямоугольной системе координат по оси абсцисс откладывают все возможные значения случайной величины, а по оси ординат - соответствующие вероятности.

Затем строят точки $(x_i; P_i)$ и соединяют их прямолинейными отрезками. Полученная фигура называется *многоугольником распределения* (рис. 2.12)

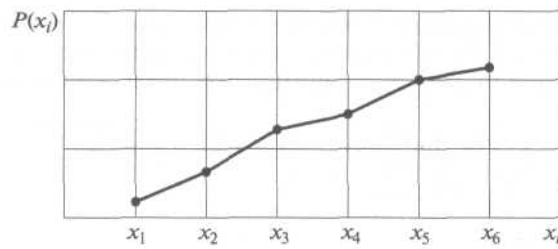


Рис. 2.12. Графическая интерпретация ряда распределения

Следует помнить, что соединение вершин ординат делается только в целях наглядности, так как в промежутках между x_1 и x_2 , x_2 и x_3 , и т.д. случайная величина X значений принять не может, поэтому вероятности ее появления в этих промежутках равны нулю.

Многоугольник распределения, как и ряд распределения, является одной из форм задания закона распределения дискретной случайной величины. Они могут иметь самую различную форму, однако все обладают одним общим свойством: сумма ординат вершин многоугольника распределения, представляющая собой сумму вероятностей всех возможных значений случайной величины, всегда равна единице. Это свойство вытекает из того, что все возможные значения случайной величины X образуют полную группу несовместных событий, сумма вероятностей которых равна единице.

В статистике разработано большое количество математических законов для описания случайных величин. В вопросах исследования эксплуатационной надежности автомобилей в условиях АТП получили наибольшее распространение следующие из них: экспоненциальный, нормальный, логарифмически нормальный и Вейбулла, которые рекомендуются для подобных целей государственными стандартами.

Экспоненциальный закон распределения

Для экспоненциального распределения справедливо

$$f(x) = \begin{cases} \lambda \cdot e^{-\lambda x}, & x \geq 0; \\ 0, & x \leq 0, \end{cases} \quad (2.47)$$

где λ – параметр распределения, определяемый по формулам

$$\lambda = \frac{1}{X} = \frac{1}{\sigma(x)}. \quad (2.48)$$

При исследовании надёжности автомобиля λ характеризует интенсивность отказа деталей. При этом $V_X = 1; A_K = 2; E_K = 9$.

Закон удобен при проведении всех видов математической обработки математического ожидания, дисперсии, функции распределения случайной величины (рис. 2.13).

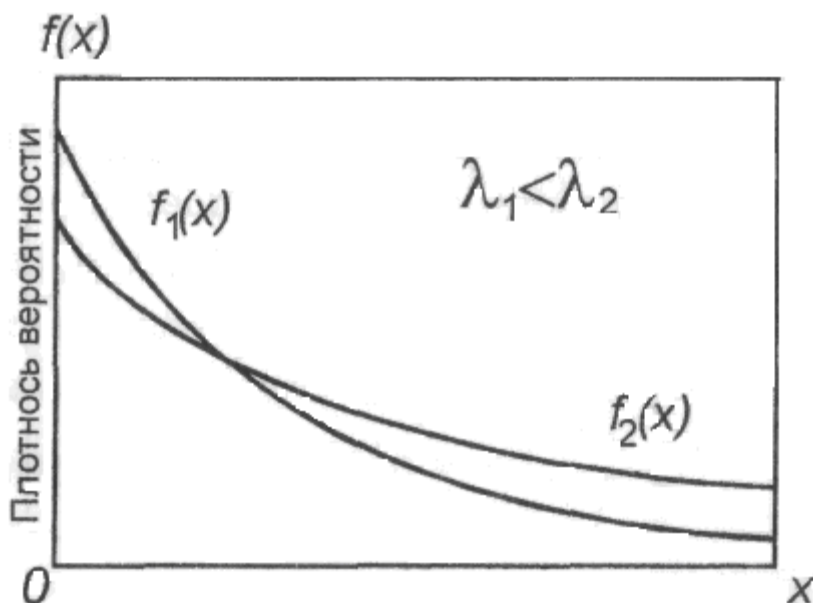


Рис. 2.13. Графическая интерпретация экспоненциального распределения

Этим распределением описываются распределение безотказной работы деталей автомобиля, распределение времени ремонта автомобиля при восстановлении этих отказов, и многое другое. При оценке показателей надёжности коэффициент вариации для принятия этого закона должен находиться в диапазоне от 0,8 до 1,2 (большее значение вариации обычно свидетельствует о «смешанной» выборке).

Интегральная функция распределения экспоненциального закона имеет вид:

$$F(x) = P(x \leq X) = \int_{-\infty}^x \lambda \cdot e^{-\lambda x} \cdot dx = 1 - e^{-\lambda x} \quad (2.49)$$

Нормальный закон распределения

Нормальное распределение возникает в том случае, когда результат испытания является следствием влияния большого числа

факторов, среди которых нет доминирующих, а объем наблюдений достаточно велик. Это 2-х параметрическое распределение (параметры $\bar{x}$ и σ) (рис. 2.14).

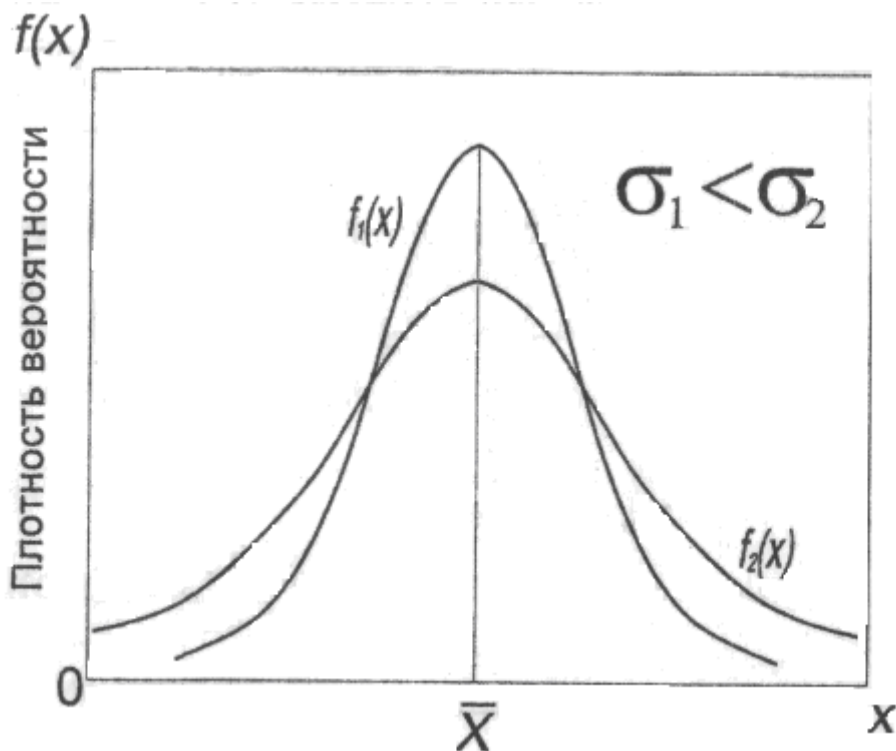


Рис. 2.14. Графическая интерпретация нормального распределения

Плотность вероятностей имеет вид, широко известный как функция Гаусса, а при графической интерпретации – кривая Гаусса:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (2.50)$$

Нормальное распределение применяется для описания отказов, вызванных изнашиванием или постепенным накоплением неисправностей, когда доля внезапных отказов мала, и многих других процессов технической эксплуатации автомобилей (периодичность ТО, расход однородных эксплуатационных материалов, рассеяние значений диагностического параметра для исправного состояния, и т.д.). Поскольку он может обрабатывать и отрицательные СВ, его широко применяют во многих областях практической и научной деятельности. При оценке показателей надежности его рекомендуется использовать при коэффициентах вариации в диапазоне 0,1...0,35, и значениях коэффициентов асимметрии и эксцесса, близким к нулю. Закон является

симметричным относительно среднего, и для него совпадают значения математического ожидания, моды и медианы. Хотя закон имеет самое большое распространение, его недостатком является чрезмерная сложность выполнения математических расчетов для математического ожидания, дисперсии, функции распределения случайной величины. из-за невозможности непосредственного интегрирования, поэтому в статистике для этих целей используется метод, разработанный Лапласом, который ввел следующую подстановку, позволяющую перейти к так называемому центрированному нормированному распределению, имеющему $\bar{X} = 0$ и $\sigma = 1$:

$$t = \frac{x - \bar{X}}{\sigma} \quad (2.51)$$

Для нормированного распределения интегральная функция будет определяться по выражению:

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 0,5 + \Phi(z) \quad (2.52)$$

где $F(z)$ - функция распределения нормированной СВ, а нормированное значение z , соответствующее ненормированному значению X , определяется по выражению (1).

В выражении (2) показатель вероятности 0.5 будет соответствовать в силу симметричности нормированного распределения относительно математического ожидания $\bar{X} = 0$ значению интеграла в отрицательном диапазоне от $-\infty$ до нуля, который нецелесообразно вычислять. Для положительных аргументов соответствующее значение вероятности находится через интеграл или функцию Лапласа:

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (2.53)$$

которая была вычислена ее автором через ряд Тейлора и представлена в виде таблиц.

При использовании функции Лапласа (3) справедливо соотношение:

$$\Phi(-z) = -\Phi(z) \quad (2.54)$$

Рассмотрим пример.

Фиксировалось время между отказами агрегата автомобиля.

В результате были получены следующие статистические характеристики: $\bar{X} = 36,3$ часа; $\sigma = 3,3$ часа. Необходимо определить вероятность попадания СВ в интервал $\bar{X} \pm 5$ часов.

Решение задачи сводится к следующему.

Определяется нормированное значение СВ в крайних точках интервала

$$Z_1 = \frac{x_1 - \bar{X}}{\sigma} = \frac{31,335 - 36,335}{3,3} = -1,515;$$
$$Z_2 = \frac{x_2 - \bar{X}}{\sigma} = \frac{41,335 - 36,335}{3,3} = 1,515.$$

По таблице для нормированной функции Лапласа определяются значения функции в граничных точках интервала:

$$\Phi(z_1) = \Phi(-1,515) = -0,435;$$

$$\Phi(z_2) = \Phi(1,515) = 0,435.$$

Определяются значения функции распределения в граничных точках интервала:

$$F(x_1) = F(31,335) = 0,5 + \Phi(z_1) = 0,5 - 0,435 = 0,065;$$

$$F(x_2) = F(41,335) = 0,5 + \Phi(z_2) = 0,5 + 0,435 = 0,935.$$

Определяется вероятность попадания СВ в интервал $\bar{X} \pm 5$:

$$P\{x_1 \leq X \leq x_2\} = P\{31,335 \leq X \leq 41,335\} = F(x_2) - F(x_1) = F(41,335) - F(31,335) = 0,935 - 0,065 = 0,870.$$

Следует учитывать, что в ряде случаев могут быть даны другие табличные значения функции Лапласа, зависящие от задания пределов интегрирования, на что необходимо обращать внимание и проводить соответствующие корректировки.

На практике в первом приближении можно использовать так называемое свойство шестисигмового диапазона нормального закона, и показывающие вероятности попадания (в %) случайной величины в различные диапазоны стандартного отклонения σ относительно математического ожидания. Поскольку в указанном диапазоне, как это можно видеть из таблицы значений функции Лапласа, практически находится 100% случайной величины, то за

его пределами производить расчеты нецелесообразно. В тоже время диапазоны с 85% и 95% вероятностями могут просто рассчитываться с незначительной ошибкой прибавлением к среднему значению одно или полутора кратных величин σ (при нижнем пределе интегрирования $-\infty$). Также при двухсторонних ограничениях диапазон $\bar{X} \pm 2\sigma$ будет соответствовать популярной в статистике 95%-ной вероятности (рис. 2.15).

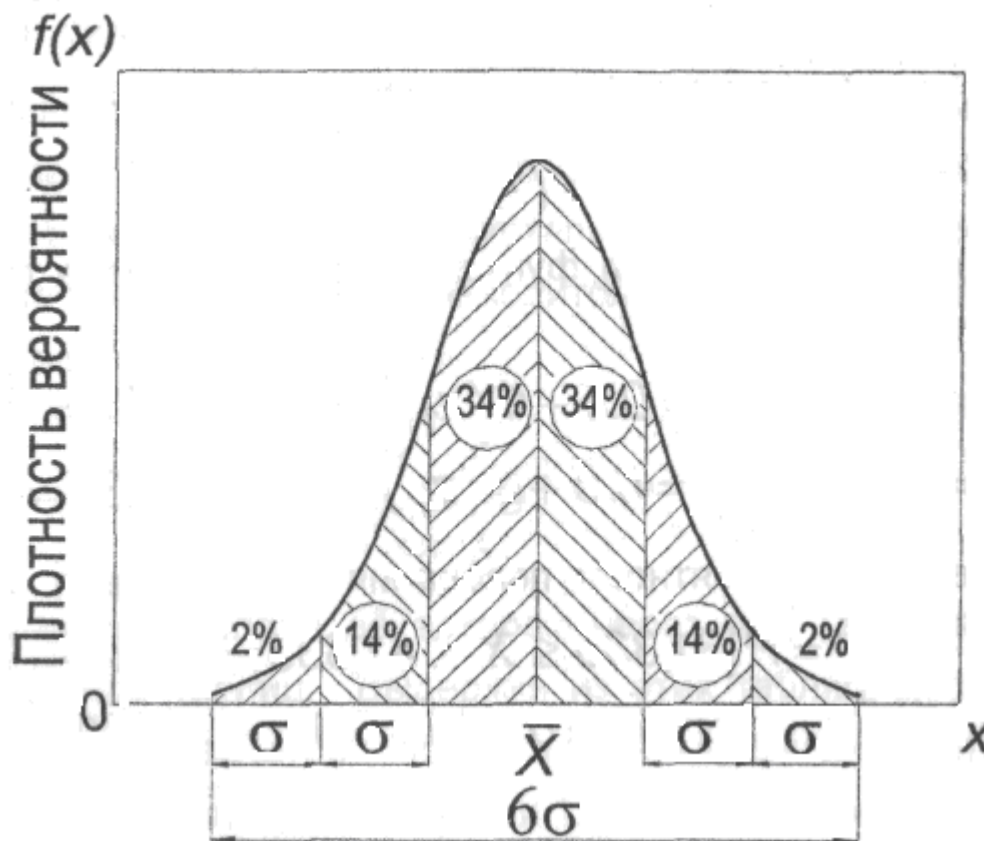


Рис. 2.15. Значения вероятностей для нормального закона распределения по диапазонам стандартных отклонений

При компьютерных расчетах значение интегральной функции Лапласа для снижения времени также можно определять по табличным данным, помещая их в программу, или же вычислять непосредственно приближенным графическим способом.

Логарифмически нормальный закон распределения

Непрерывная СВ считается распределенной по логарифмически нормальному закону, если ее логарифм распределен по нормальному закону. Данное распределение

встречается при обработке результатов ускоренных испытаний отдельных объектов. Ему может подчиниться наработка до отказа невосстанавливаемого изделия при его усталостном разрушении, размер АТП, периодичность отказов крепежных соединений и т.д. При оценке показателей надежности его можно использовать при значениях коэффициента вариации в диапазоне 0,4.....0,8.

Плотность вероятности имеет вид

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_L \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - y_o)^2}{2\sigma_L^2}} \quad (2.55)$$

где y_o - математическое ожидание логарифма СВ;

σ_L - среднеквадратическое отклонение логарифма СВ.

$$y_o = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln x; \quad \sigma_L = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\ln x_i - y_o)^2} \quad (2.56)$$

Формы логарифмически нормального распределения могут быть самыми различными, от почти симметричного относительно математического ожидания, что крайне редко, а в основном с ярко выраженной положительной асимметрией, когда значение моды существенно ниже значения медианы (графически приближается к началу координат) (рис. 2.16).

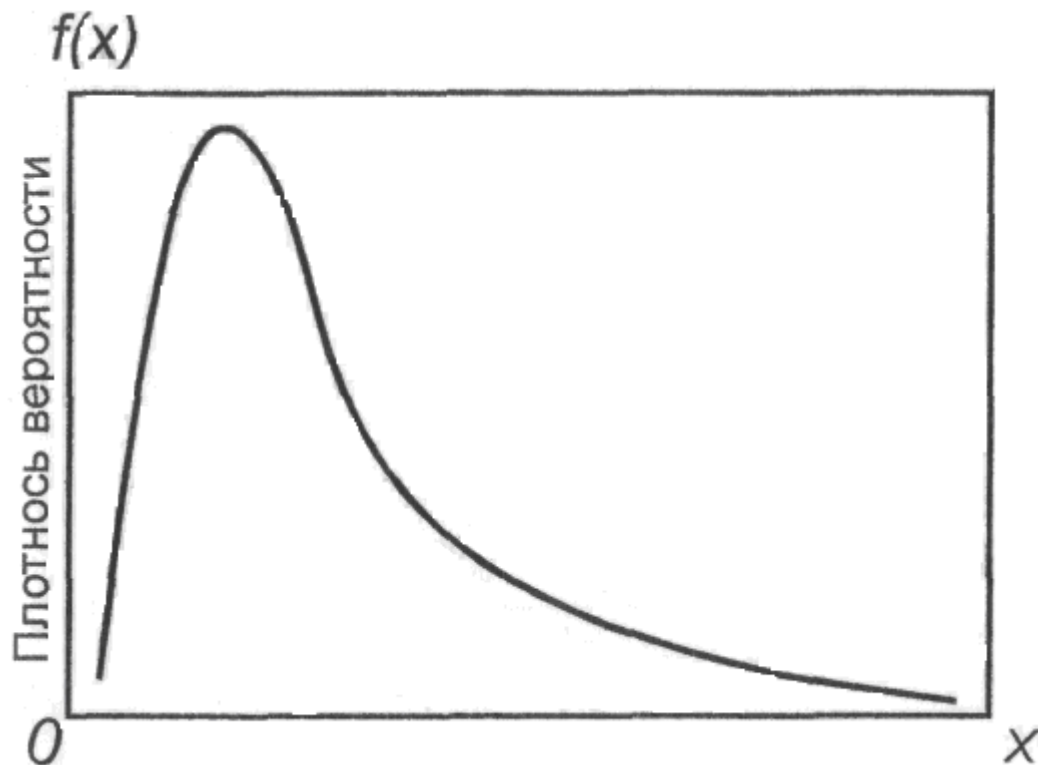


Рис. 2.16. Форма логарифмически нормального распределения

Хотя логарифмически нормальное распределение рекомендуется для применения при оценке показателей надежности нормативной документацией, «ручные» расчеты по нему, которые всегда целесообразно проводить для контроля качества неизвестных компьютерных программ, значительно сложнее по сравнению с нормальным законом. Очевидно, по этой причине в нормативных рекомендациях практически свернуты основные статистические проработки для этого закона (за исключением определения объема выборки), и поэтому становится целесообразным пользоваться законом Вейбулла, который по «характеру» распределения может «заменить» логарифмически нормальный в том же самом диапазоне значений коэффициентов вариации СВ. Однако более важной причиной, по которой следует «избегать» использования логарифмически нормального закона, является теоретическая «ненормальность» изменения интенсивности отказов для него, с начальным повышением и последующим снижением. Последнее противоречит физической природе процессов постепенного изнашивания или «старения» автомобильных элементов, оценка показателей, надежности которых производится по экспериментальным данным.

Закон распределения Вейбулла

Это наиболее распространенный закон распределения при обработке экспериментальных данных по надежности автомобилей в эксплуатации, теоретически начинается с нуля и обеспечивает соответствие экспериментальным данным в диапазоне коэффициентов вариации 0,4...0,8.

Плотность распределения имеет следующий вид (возможны и другие выражения):

$$f(x) = \frac{b}{a} \left(\frac{x}{a} \right)^{b-1} e^{-\left(\frac{x}{a} \right)^b} \quad (2.57)$$

при условии, что

a - параметр масштаба, косвенно связанный со средним значением;

b - параметр формы, косвенно связанный со значением коэффициента вариации. При $b=1$ закон Вейбулла вырождается в экспоненциальный (рис. 2.17).

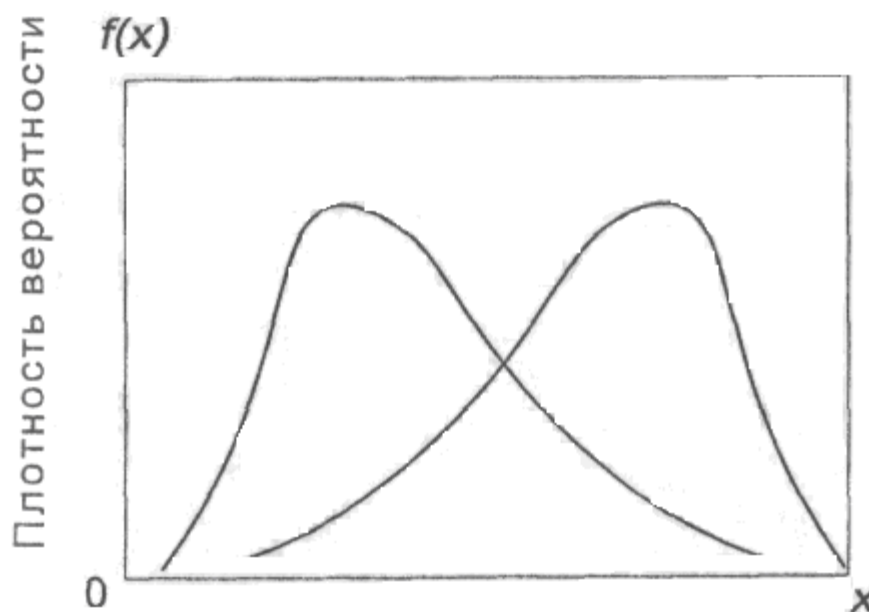


Рис. 2.17. Формы распределения закона Вейбулла

Оценка параметров закона распределения может осуществляться различными методами (максимального правдоподобия, приближенным и т.д.). Нормативной документацией рекомендуется реализуемый только на ЭВМ метод последовательного приближения при статистической оценке параметров a и b по экспериментальным данным, однако при разработке программ следует учитывать редкую возможность «зацикливания» процедуры приближения при повторении определяемых значений оценок, и корректировке исходных данных.

При «ручных» расчетах, которые зачастую необходимы, поскольку не все компьютерные программы обеспечивают 100%-ные возможности, использования закона Вейбулла на практике получила применение следующая процедура:

определяются коэффициент асимметрии и коэффициент вариации:

$$A_k = \frac{\frac{N}{(N-1)(N-2)} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^3}{\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2 \right]^{1,5}} \quad (2.58)$$

По полученному значению из таблицы 1 находят оценку $\hat{b}$ параметра b и значения коэффициентов K_b и g_b . Затем определяется оценка $\hat{a}$ параметра a : $\hat{a} = \frac{\sigma}{g_b}$ и оценка $\hat{c}$ параметра c :

$$\hat{c} = \bar{X} - \hat{a} \cdot K_b \quad (2.59)$$

В качестве оценки параметра c берется одно из двух значений: $\hat{c}$, если оно меньше $x_1 = x_{\min}$, где $x_{\min}$ - минимальное значение вариационного ряда, $x_1 = x_{\min}$, если $\hat{c}$ будет больше $x_{\min}$.

Таблица 2.2

Коэффициенты и параметры закона распределения Вейбулла

Вариации, V	Асимметрии, A_k	b	K_b	g_b
0,120	-0,638	10,0	0,951	0,114
0,170	-0,455	6,9	0,935	0,159
0,20	-0,352	5,8	0,926	0,184
0,301	-0,023	3,7	0,901	0,276
0,399	0,275	2,7	0,889	0,355
0,500	0,567	2,1	0,886	0,443
0,605	0,865	1,7	0,892	0,540

Математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение находятся по формулам:

$$\bar{X} = a \cdot K_b + c \quad (2.60)$$

$$\sigma = a \cdot g_b \quad (2.61)$$

Удобство закона Вейбулла заключается в возможности его применения, как это можно видеть из данных таблицы 1 и рис. 2, для описания случайных величин как с положительной, так и с отрицательной асимметрии, с одной стороны, и в простоте вычисления функции распределения, с другой, поскольку выражение (1) легко интегрируется:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b} \quad (2.62)$$

2.5 Проверка соответствия закона распределения эмпирическим данным на основе критерия согласия Пирсона

Критерий согласия Пирсона (χ^2) применяют для проверки гипотезы о соответствии эмпирического распределения предполагаемому теоретическому распределению $F(x)$ при большом объеме выборки ($n \geq 100$). Критерий применим для любых видов функции $F(x)$, даже при неизвестных значениях их параметров, что обычно имеет место при анализе результатов механических испытаний. В этом заключается его универсальность.

Использование критерия χ^2 предусматривает разбиение размаха варьирования выборки на интервалы и определения числа наблюдений (частоты) n_j для каждого из e интервалов. Для удобства оценок параметров распределения интервалы выбирают одинаковой длины.

Число интервалов зависит от объема выборки. Обычно принимают: при $n = 100$ $e = 10 \div 15$, при $n = 200$ $e = 15 \div 20$, при $n = 400$ $e = 25 \div 30$, при $n = 1000$ $e = 35 \div 40$.

Интервалы, содержащие менее пяти наблюдений, объединяют с соседними. Однако, если число таких интервалов составляет менее 20% от их общего количества, допускаются интервалы с частотой $n_j \geq 2$.

Статистикой критерия Пирсона служит величина

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^e \frac{(n_j - np_j)^2}{np_j}, \quad (2.63)$$

где p_j - вероятность попадания изучаемой случайной величины в j -и интервал, вычисляемая в соответствии с гипотетическим законом распределением $F(x)$. При вычислении вероятности p_j нужно иметь в виду, что левая граница первого интервала и правая последнего должны совпадать с границами области возможных значений случайной величины. Например, при нормальном распределении первый интервал простирается до $-\infty$, а последний - до $+\infty$.

Нулевую гипотезу о соответствии выборочного распределения теоретическому закону $F(x)$ проверяют путем сравнения вычисленной по формуле (2.62) величины с критическим значением χ^2_{α} , найденным в приложении 1 для уровня значимости α и числа степеней свободы $k = e_1 - m - 1$. Здесь e_1 - число интервалов после объединения; m - число параметров, оцениваемых по рассматриваемой выборке.

Если выполняется неравенство

$$\chi^2 \leq \chi^2_{\alpha} \quad (2.64)$$

то нулевую гипотезу не отвергают. При несоблюдении указанного неравенства принимают альтернативную гипотезу о принадлежности выборки неизвестному распределению.

Недостатком критерия согласия Пирсона является потеря части первоначальной информации, связанная с необходимостью группировки результатов наблюдений в интервалы и объединения отдельных интервалов с малым числом наблюдений. В связи с этим рекомендуется дополнять проверку соответствия распределений по критерию χ^2 другими критериями. Особенно это необходимо при сравнительно малом объеме выборки ($n \approx 100$).

2.6 Понятие доверительного интервала и доверительной вероятности при статистической оценке характеристик рассеяния случайных величин

В предыдущих пунктах мы рассмотрели вопрос об оценке неизвестного параметра α одним числом. Такая оценка называется «точечной». В ряде задач требуется не только найти для параметра α подходящее численное значение, но и оценить его точность и надежность. Требуется знать - к каким ошибкам может привести замена параметра α его точечной оценкой $\tilde{\alpha}$ и с какой степенью уверенности можно ожидать, что эти ошибки не выйдут за известные пределы?

Такого рода задачи особенно актуальны при малом числе наблюдений, когда точечная оценка $\tilde{\alpha}$ в значительной мере случай-

на и приближенная замена a на $\tilde{a}$ может привести к серьезным ошибкам. Это возможно при обработке выборки эмпирических случайных величин о надёжности автомобилей или других показателей их работы.

Чтобы дать представление о точности и надёжности оценки $\tilde{a}$, в математической статистике пользуются доверительными интервалами и доверительными вероятностями.

Пусть для параметра a получена из опыта несмещенная оценка $\tilde{a}$. Мы хотим оценить возможную при этом ошибку. Назначим некоторую достаточно большую вероятность β (например, $\beta = 0.9, 0.95$ или 0.99) такую, что событие с вероятностью β можно считать практически достоверным, и найдем такое значение ε , для которого

$$P(|\tilde{a} - a| < \varepsilon) = \beta. \quad (2.65)$$

Тогда диапазон практически возможных значений ошибки, возникающей при замене a на $\tilde{a}$, будет $\pm \varepsilon$; большие по абсолютной величине ошибки будут появляться только с малой вероятностью $\alpha = 1 - \beta$.

Перепишем (2.65) в виде:

$$P(\tilde{a} - \varepsilon < a < \tilde{a} + \varepsilon) = \beta. \quad (2.66)$$

Равенство (2.66) означает, что с вероятностью β неизвестное значение параметра a попадает в интервал

$$I_\beta = (\tilde{a} - \varepsilon, \tilde{a} + \varepsilon). \quad (2.67)$$

При этом необходимо отметить одно обстоятельство. Ранее мы неоднократно рассматривали вероятность попадания случайной величины в заданный неслучайный интервал. Здесь дело обстоит иначе: величина a не случайна, зато случаен интервал I_β . Случайно его положение на оси абсцисс, определяемое его центром $\tilde{a}$; случайна вообще и длина интервала 2ε , так как величина ε вычисляется, как правило, по опытным данным. Поэтому в данном случае лучше будет толковать величину β не

как вероятность «попадания» точки a в интервал I_β , а как вероятность того, что случайный интервал I_β накроет точку a (рис. 2.18).

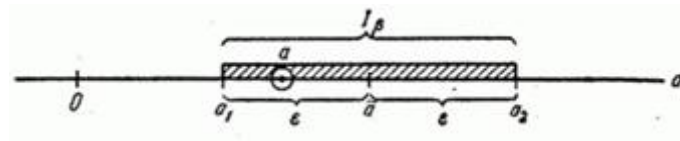


Рис. 2.18

Вероятность β принято называть доверительной вероятностью, а интервал I_β - доверительным интервалом. Границы интервала I_β : $a_1 = \bar{a} - \varepsilon$ и $a_2 = \bar{a} + \varepsilon$ называются доверительными границами.

Дадим еще одно истолкование понятию доверительного интервала: его можно рассматривать как интервал значений параметра a , совместимых с опытными данными и не противоречащих им. Действительно, если условиться считать событие с вероятностью $\alpha = 1 - \beta$ практически невозможным, то те значения параметра a , для которых $|\bar{a} - a| > \varepsilon$, нужно признать противоречащими опытными данным, а те, для которых $|\bar{a} - a| < \varepsilon$, - совместимыми с ними.

Перейдем к вопросу о нахождении доверительных границ a_1 и a_2 .

Пусть для параметра a имеется несмещенная оценка $\bar{a}$. Если бы нам был известен закон распределения величины $\bar{a}$, задача нахождения доверительного интервала была бы весьма проста: достаточно было бы найти такое значение ε , для которого

$$P(|\bar{a} - a| < \varepsilon) = \beta$$

Затруднение состоит в том, что закон распределения оценки $\bar{a}$ зависит от закона распределения величины X и, следовательно, от его неизвестных параметров (в частности, и от самого параметра a).

Чтобы обойти это затруднение, можно применить следующий грубо приближенный прием: заменить в выражении для ε неизвестные параметры их точечными оценками. При сравнительно большом числе опытов n (порядка **20-30**) этот прием обычно дает удовлетворительные по точности результаты.

В качестве примера рассмотрим задачу о доверительном интервале для математического ожидания.

Пусть произведено n независимых опытов над случайной величиной X , характеристики которой - математическое ожидание m и дисперсия D - неизвестны. Для этих параметров получены оценки:

$$\tilde{m} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad \tilde{D} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{m})^2}{n-1}. \quad (2.46)$$

Требуется построить доверительный интервал I_β , соответствующий доверительной вероятности β для математического ожидания m величины X .

При решении этой задачи воспользуемся тем, что величина $\tilde{m}$ представляет собой сумму n независимых одинаково распределенных случайных величин X_i , и, согласно центральной предельной теореме, при достаточно большом n ее закон распределения близок к нормальному. На практике даже при относительно небольшом числе слагаемых (порядка **10-20**) закон распределения суммы можно приближенно считать нормальным. Будем исходить из того, что величина $\tilde{m}$ распределена по нормальному закону.

Характеристики этого закона - математическое ожидание и дисперсия - равны $\tilde{m}$ и $\frac{\tilde{D}}{n}$. Предположим, что величина D нам известна, и найдём такую величину ε_β для которой

$$P(|\tilde{m} - m| < \varepsilon_\beta) = \beta. \quad (2.47)$$

Применяя формулу (6.3.5) главы 6, выразим вероятность в левой части (14.3.5) через нормальную функцию распределения

$$P(|\tilde{m} - m| < \varepsilon_\beta) = 2\Phi^*\left(\frac{\varepsilon_\beta}{\sigma_{\tilde{m}}}\right) - 1 \quad (2.48)$$

где $\sigma_{\tilde{m}} = \sqrt{\frac{D}{n}}$ - среднее квадратическое отклонение оценки $\tilde{m}$.

Из уравнения

$$2\Phi^*\left(\frac{\varepsilon_\beta}{\sigma_{\tilde{m}}}\right) - 1 = \beta \quad (2.49)$$

находим значение ε_β :

$$\varepsilon_\beta = \sigma_{\tilde{m}} \arg \Phi^*\left(\frac{1+\beta}{2}\right), \quad (2.50)$$

где $\arg \Phi^*(x)$ - функция, обратная $\Phi^*(x)$, т. е. такое значение аргумента, при котором нормальная функция распределения равна x .

Дисперсия D , через которую выражена величина $\sigma_{\tilde{m}}$, нам в точности не известна; в качестве ее ориентировочного значения можно воспользоваться оценкой D и положить приближенно:

$$\sigma_{\tilde{m}} = \sqrt{\frac{\overline{D}}{n}} \quad (2.51)$$

Таким образом, приближенно решена задача построения доверительного интервала, который равен:

$$I_\beta = (\tilde{m} - \varepsilon_\beta; \tilde{m} + \varepsilon_\beta), \quad (2.52)$$

где ε_β определяется формулой (2.50).

Чтобы избежать при вычислении ε_β обратного интерполирования в таблицах функции $\Phi^*(x)$, удобно составить специальную таблицу (см. табл. 2.3), где приводятся значения величины

$$t_\beta = \arg \Phi^*\left(\frac{1+\beta}{2}\right) \quad (2.53)$$

в зависимости от β . Величина t_β определяет для нормального закона число средних квадратических отклонений, которое нужно отложить вправо и влево от центра рассеивания для того, чтобы вероятность попадания в полученный участок была равна β .

Через величину t_β доверительный интервал выражается в виде:

$$I_\beta = (\bar{m} - t_\beta \sigma_{\bar{m}}; \bar{m} + t_\beta \sigma_{\bar{m}})$$

Таблица 2.3

β	t_β	β	t_β	β	t_β	β	t_β
0,80	1,282	0,86	1,475	0,91	1,694	0,97	2,169
0,81	1,310	0,87	1,513	0,92	1,750	0,98	2,325
0,82	1,340	0,88	1,554	0,93	1,810	0,99	2,576
0,83	1,371	0,89	1,597	0,94	1,880	0,9973	3,000
0,84	1,404	0,90	1,643	0,95	1,960	0,999	3,290
0,85	1,439			0,96	2,053		

Пример 1. Произведено 20 опытов над величиной X ; результаты приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4

i	x_i	i	x_i	i	x_i	i	x_i
1	10,5	6	10,6	11	10,6	16	10,9
2	10,8	7	10,9	12	11,3	17	10,8
3	11,2	8	11,0	13	10,5	18	10,7
4	10,9	9	10,3	14	10,7	19	10,9
5	10,4	10	10,8	15	10,8	20	11,0

Требуется найти оценку $\bar{m}$ для математического ожидания m величины X и построить доверительный интервал, соответствующий доверительной вероятности $\beta = 0,8$.

Решение. Имеем:

$$\bar{m} = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} x_i = 10,78$$

Выбрав за начало отсчета $x=10$, по третьей формуле (2.38) находим несмещенную оценку $\tilde{D}$:

$$\tilde{D} = \left(\frac{13,38}{20} - 0,78^2 \right) \frac{20}{19} = 0,064;$$

$$\sigma_{\tilde{m}} = \sqrt{\frac{\tilde{D}}{n}} = 0,0564$$

По таблице 2.4 находим $t_p = 1,282$;

$$\epsilon_p = t_p \sigma_{\tilde{m}} = 0,072$$

Доверительные границы:

$$m_1 = \tilde{m} - 0,072 = 10,71;$$

$$m_2 = \tilde{m} + 0,072 = 10,85$$

Доверительный интервал:

$$I_p = (10,71; 10,85)$$

Значения параметра m , лежащие в этом интервале, являются совместными с опытными данными, приведенными в таблице 2.4.

Аналогичным способом может быть построен доверительный интервал и для дисперсии.

Пусть произведено n независимых опытов над случайной величиной X с неизвестными параметрами m и D , и для дисперсии D получена несмещенная оценка:

$$\tilde{D} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{m})^2}{n-1}, \quad (2.51)$$

где

$$\tilde{m} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Требуется приближенно построить доверительный интервал для дисперсии.

Из формулы (2.51) видно, что величина D представляет собой

сумму n случайных величин вида $\frac{(X_i - \tilde{m})^2}{n-1}$. Эти величины не являются независимыми, так как в любую из них входит

величина $\frac{\mu_4}{D^2}$, зависящая от всех остальных. Однако можно показать, что при увеличении n закон распределения их суммы тоже приближается к нормальному. Практически при $n = 20-30$ он уже может считаться нормальным.

Предположим, что это так, и найдем характеристики этого закона: математическое ожидание и дисперсию. Так как оценка $\tilde{D}$ - несмещенная, то $M[\tilde{D}] = D$.

Вычисление дисперсии $D[\tilde{D}]$ связано со сравнительно сложными выкладками, поэтому приведем ее выражение без вывода:

$$D[\tilde{D}] = \frac{1}{n} \mu_4 - \frac{n-3}{n(n-1)} D^2, \quad (2.52)$$

где μ_4 - четвертый центральный момент величины X .

Чтобы воспользоваться этим выражением, нужно подставить в него значения μ_4 и D (хотя бы приближенные). Вместо D можно воспользоваться его оценкой $\tilde{D}$. В принципе четвертый центральный момент μ_4 тоже можно заменить его оценкой, например величиной вида:

$$\mu_4^* = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^4}{n}, \quad (2.53)$$

но такая замена даст крайне невысокую точность, так как вообще при ограниченном числе опытов моменты высокого порядка определяются с большими ошибками. Однако на практике часто бывает, что вид закона распределения величины X известен заранее: неизвестны лишь его параметры. Тогда можно попытаться выразить μ_4 через D .

Возьмем наиболее часто встречающийся случай, когда величина X распределена по нормальному закону. Тогда ее четвертый центральный момент выражается через дисперсию:

$$\mu_4 = 3D^2,$$

и формула (2.52) дает

$$D[\tilde{D}] = \frac{3}{n} D^2 - \frac{n-3}{n(n-1)} D^2$$

или

$$D[\tilde{E}] = \frac{2}{n-1} D^2 \quad (2.54)$$

Заменяя в (2.54) неизвестное D его оценкой $\tilde{D}$, получим:

$$D[\tilde{E}] = \frac{2}{n-1} \tilde{D}^2, \quad (2.55)$$

откуда

$$\sigma_{\tilde{D}} = \sqrt{\frac{2}{n-1}} \tilde{D} \quad (2.56)$$

Момент μ_4 можно выразить через D также и в некоторых других случаях, когда распределение величины X не является нормальным, но вид его известен. Например, для закона равномерной плотности имеем:

$$\mu_4 = \frac{(\beta - \alpha)^4}{30}; \quad D = \frac{(\beta - \alpha)^2}{12}, \quad (2.57)$$

где (α, β) - интервал, на котором задан закон. Следовательно,

$$\mu_4 = 18D^2$$

По формуле (2.52) получим:

$$D[\tilde{D}] = \frac{0,8n+1,2}{n(n-1)} D^2,$$

откуда находим приближенно

$$\sigma_{\tilde{D}} \approx \sqrt{\frac{0,8n+1,2}{n(n-1)}} \tilde{D} \quad (2.58)$$

В случаях, когда вид закона распределения величины X неизвестен, при ориентировочной оценке величины $\sigma_{\tilde{D}}$ рекомендуется все же пользоваться формулой (2.53), если нет специальных оснований считать, что этот закон сильно отличается от нормального (обладает заметным положительным или отрицательным эксцессом).

Если ориентировочное значение $\sigma_{\tilde{D}}$ тем или иным способом получено, то можно построить доверительный интервал для

дисперсии, аналогично тому, как мы строили его для математического ожидания:

$$t_p = (\bar{D} - t_p \sigma_D; \bar{D} + t_p \sigma_D), \quad (2.59)$$

где величина t_p в зависимости от заданной вероятности p находится по таблице 2.4.

2.7. Вопросы для самоподготовки

1. Дайте определение случайной величины.
2. Дайте определение дискретной случайной величины.
3. Дайте определение непрерывной случайной величины.
4. Перечислите основные характеристики случайных величин.
5. Дайте характеристику показателей положения случайных величин.
6. Дайте характеристику показателей рассеяния случайных величин.
7. Дайте определение гистограммы распределения, опишите процедуру их построения.
8. Дайте краткую характеристику функции распределения СВ.
9. Дайте краткую характеристику плотности распределения СВ.
10. Дайте формулировку экспоненциального закона распределения и его краткую характеристику.
11. Дайте формулировку нормального закона распределения и его краткую характеристику.
12. Дайте формулировку логарифмически нормального закона распределения и его краткую характеристику.
13. Дайте формулировку закона распределения Вейбулла и его краткую характеристику.
14. Дайте определение критерия Пирсона и опишите процедуру проверки закона распределения на нормальность с помощью критерия Пирсона.
15. Опишите процедуру проверки нормальности закона распределения с помощью коэффициентов асимметрий и эксцесса.

16. Дайте определение доверительного интервала и доверительной вероятности.
17. Назовите основные расчётные формулы для определения границ доверительных интервалов для параметров нормального закона распределения.
18. Назовите основные формулы для расчёта границ доверительного интервала для экспоненциального закона распределения.
19. Каким образом определяется объём выборки для нормального закона распределения?
20. Каким образом определяется объём выборки для экспоненциального закона распределения?
21. Каким образом определяется объём выборки для закона распределения Вейбулла?
22. Каким образом определяется объём выборки для логарифмически нормального закона распределения?
23. Дайте характеристику процедуры организации наблюдений за работой автомобилей на АТП.

3 Моделирование в научных исследованиях

3.1 Принципы математического моделирования

Модель является основой метода моделирования, который в настоящее время приобрел общенаучный характер и широко применяется в научных исследованиях.

Математическим моделированием называется метод изучения явлений, процессов, объектов с применением моделей, основанных на идентичности математического описания процессов в оригинале и модели. Модель считается *адекватной* объекту – оригиналу, если она с достаточной степенью приближения на уровне понимания моделируемого процесса исследователем отражает закономерности процесса функционирования реальной системы во внешней среде.

В настоящее время можно считать сложившимися два подхода к изучению сложных управляемых процессов математическими методами.

Первый из них естественно называть «математическим программированием». Он состоит в том, что разрабатывается математическая (аналитическая) модель процесса, связывающая его внутренние характеристики и влияющие на него внешние факторы, в числе которых находятся и управления, и ставится задача на определение таких управлений процессом, которые доставляют экстремум некоторому функционалу, характеризующему качество управления.

Второй подход к изучению сложных процессов связан с имитационным моделированием. Считается, что для применения имитации должны быть достаточные основания:

- не существует законченной математической постановки данной задачи, либо еще не разработаны методы математического программирования или аналитические методы решения такого рода задач;
- методы имеются, но они столь сложны, что имитационное моделирование является более простым способом решения задачи;

– методы математического программирования или аналитические методы существуют, но их реализация невозможна из-за недостаточной подготовленности ЛПР (лица, принимающего решение).

Искусство моделирования состоит в способности анализировать проблему, выделять из нее путем абстрагирования ее существенные черты, выбирать и должным образом модифицировать основное предположение, характеризующее систему, а затем отрабатывать и совершенствовать модель до тех пор, пока она не будет давать полезные для практики результаты.

Хорошая модель должна быть:

- простой и понятной пользователю;
- целенаправленной;
- надежной в смысле гарантии от получения абсурдных ответов;
- удобной в управлении и обращении, т.е. общение с ней должно быть легким;
- полной с точки зрения возможностей решения главных задач;
- адаптивной, позволяющей легко переходить к другим модификациям или обновлять данные;
- допускающей постепенные изменения в том смысле, что будучи в начале простой, она может во взаимодействии с пользователем становиться все более сложной.

При *физическом моделировании* физическая природа явлений, протекающих в оригинале и модели, одинакова. Смысл физического моделирования заключается в том, чтобы по результатам опытов на модели можно было достоверно оценивать характер эффектов и количественные взаимосвязи между величинами, определяющими физически подобное явление в натуральных условиях.

Основой физического моделирования служит *теория подобия*, которая, в свою очередь, опирается на *анализ размерностей*. Опираясь на экспериментальные результаты, полученные при

исследовании конкретного явления, теория подобия позволяет проводить обоснованные обобщения на группу явлений, для которых, как правило, известны функциональные зависимости между переменными величинами. В частности, это выражается в том, что теория подобия дает возможность распространять результаты эксперимента на условия, отличные от тех, при которых проводился эксперимент, прогнозировать протекание явлений.

Объекты (явления, процессы, системы) являются *подобными*, если в сходственные моменты времени в сходственных точках объектов значения переменных величин, характеризующих состояние одного объекта (натуры), пропорциональны соответствующим значениям величин другого объекта (модели).

Из этого определения следует, что в подобных объектах характеристики натурального объекта могут быть получены простым пересчетом из характеристик модельного объекта, которые, как правило, устанавливаются экспериментально.

Для всех величин данной размерности таким множителем является *коэффициент подобия* (множитель масштабного преобразования).

В научных исследованиях производственных процессов преимущественно используется математическое моделирование.

Под математическим моделированием понимают изучение свойств объекта на математической модели. Его целью является определение оптимальных условий протекания процесса, управление им на основе математической модели и перенос результатов на объект.

Основным понятием метода математического моделирования является понятие математической модели. Математической моделью называется приближенное описание какого-либо явления или процесса внешнего мира, выраженное с помощью математической символики.

Математическое моделирование включает три взаимосвязанных этапа:

а) составление математического описания изучаемого объекта;

б) выбор метода решения системы уравнений математического описания и реализация его в форме моделирующей программы;

в) установление соответствия (адекватности) модели объекту.

Математическое моделирование основано на следующих принципах:

1. *Принцип информационной достаточности.* При полном отсутствии информации об исследуемой системе построение ее модели невозможно. При наличии полной информации о системе ее моделирование лишено смысла. Существует некоторый критический уровень априорных сведений о системе (уровень информационной достаточности), при достижении которого может быть построена ее адекватная модель.

2. *Принцип осуществимости.* Создаваемая модель должна обеспечивать достижение поставленной цели исследования с вероятностью, существенно отличающейся от нуля, и за конечное время. Обычно задают некоторое пороговое значение P_0 вероятности достижения цели моделирования $P(t)$, а также приемлемую границу t_0 времени достижения этой цели. Модель считают осуществимой, если может быть выполнено условие $P(t_0) \geq P_0$.

3. *Принцип множественности моделей.* Данный принцип является ключевым. Он означает, что создаваемая модель должна отражать в первую очередь те свойства, которые влияют на выбранный показатель эффективности.

Соответственно при использовании любой конкретной модели познаются лишь некоторые стороны реальности. Для более полного ее исследования необходим ряд моделей, позволяющих с разных сторон и с разной степенью детальности отражать рассматриваемый процесс.

4. *Принцип агрегирования.* В большинстве случаев сложную систему можно представить состоящей из агрегатов (подсистем),

для адекватного математического описания которых оказываются пригодными некоторые стандартные математические схемы. Принцип агрегирования позволяет, кроме того, достаточно гибко перестраивать модель в зависимости от задач исследования.

5. Принцип параметризации. В ряде случаев моделируемая система имеет в своем составе некоторые относительно изолированные подсистемы, характеризующиеся определенным параметром, в том числе векторным. Такие подсистемы можно заменять в модели соответствующими числовыми величинами, а не описывать процесс их функционирования. При необходимости зависимость значений этих величин от ситуации может задаваться в виде таблицы, графика или аналитического выражения (формулы). Принцип параметризации позволяет сократить объем и продолжительность моделирования. Однако параметризация снижает адекватность модели.

3.2 Этапы математического моделирования

Степень реализации вышеуказанных принципов моделирования для каждой конкретной задачи может быть различной. Причем это зависит не только от желания разработчика, но и определяется принятой технологией моделирования.

Технология моделирования предполагает выполнение следующих действий:

- определение цели моделирования;
- разработка концептуальной модели объекта;
- формализация модели;
- аналитическая и/или программная реализация модели;
- планирование модельных экспериментов;
- постановка эксперимента;
- анализ и интерпретация результатов моделирования.

Содержание первых двух этапов практически не зависит от математического метода, положенного в основу моделирования. Реализация же остальных этапов существенно различается для каждого из двух основных подходов к построению модели.

Аналитическое моделирование предполагает использование математической модели реального объекта в форме алгебраических, дифференциальных, интегральных и других уравнений, связывающих выходные переменные со входными, дополненными системой накладываемых ограничений. При этом предполагается существование однозначной вычислительной процедуры получения точного решения уравнения.

При *имитационном моделировании* используемая математическая модель воспроизводит алгоритм («логику») функционирования исследуемой системы во времени при различных сочетаниях значений параметров системы и внешней среды.

Общая цель моделирования в процессе принятия решения – это определение (расчет) значений выбранного показателя эффективности для различных стратегий проведения операции (или вариантов реализации проектируемой системы). При разработке конкретной модели цель моделирования должна уточняться с учетом используемого критерия эффективности. Для соответствия критерию пригодности модель, как правило, должна обеспечивать расчет значений показателя эффективности для всего множества допустимых стратегий.

При использовании критерия оптимальности модель должна позволять непосредственно определять параметры исследуемого объекта, дающие экстремальное значение показателя эффективности.

Таким образом, цель моделирования определяется как целью исследуемой операции, так и планируемым способом использования результатов исследования.

Концептуальная (содержательная) модель – это абстрактная модель, определяющая структуру моделируемой системы, свойства ее элементов и причинно-следственные связи, присущие системе и существенные для достижения цели моделирования. Построение концептуальной модели начинается с определения типа системы.

Одним из таких признаков является мощность множества состояний моделируемой системы. По этому признаку системы делят на статические и динамические. Система называется статической, если множество ее состояний содержит один элемент. Если состояний больше одного и они могут изменяться во времени, система называется динамической. Процесс смены состояний называется движением системы.

Различают два основных типа динамических систем:

- с дискретными состояниями (множество состояний конечно или счетно);
- с непрерывным множеством состояний.

Системы с дискретными состояниями характеризуются тем, что в любой момент времени можно однозначно определить, в каком именно состоянии находится система. Для такой идентификации обязательно нужно знать тот признак, который отличает одно состояние системы от другого. Например, при исследовании систем массового обслуживания в качестве такого признака обычно используют число заявок в системе. Соответственно, изменение числа заявок в системе интерпретируется как переход системы в новое состояние.

Если не удастся подобрать такой признак либо его текущее состояние невозможно зафиксировать, то систему относят к классу систем с непрерывным множеством состояний.

Смена состояний может происходить либо в фиксированные моменты времени, множество которых дискретно.

По условиям перехода из одного состояния в другое различают детерминированные и стохастические системы.

В детерминированных системах новое состояние зависит только от времени и текущего состояния системы. Если имеются условия, определяющие переход системы в новое состояние, то для детерминированной системы всегда можно однозначно указать, в какое именно состояние она перейдет.

Для стохастической системы можно указать лишь множество возможных состояний перехода и, в некоторых случаях, -

вероятностные характеристики перехода в каждое из этих состояний.

При исследовании эффективности операции весьма важную роль играет корректное описание условий ее протекания. Как правило, она представляет собой перечень и характеристики внешних факторов, воздействующих на исполнительную подсистему, используемую ЛПР для достижения целей операции. В ряде случаев вместо условий проведения операции рассматривают рабочую нагрузку соответствующей системы. Рабочая нагрузка – это совокупность внешних воздействий, оказывающих влияние на эффективность применения данной системы в рамках проводимой операции.

3.3 Методы моделирования технологических процессов технической эксплуатации автомобилей

Математическое моделирование технологических процессов не имеет принципиальных отличий от общепринятых.

В основу большинства применяемых математических методов положен принцип дробления задачи на этапы, шаги, подзадачи. Таким образом, осуществляется переход от большой сложности задачи, которую обычный человек не способен охватить и удержать в голове одновременно, одномоментно к разумной малой сложности отдельных шагов. А многосложные вычисления передаются компьютеру. В результате каждый делает то, что может: человек думает, машина считает.

Пожалуй, наиболее ярко такой подход проявляется в динамическом программировании (ДП). При применении метода ДП поиск решения разбивается на шаги или этапы и определяется цена каждого шага. Затем, в обратном порядке, т.е. начиная с последнего шага просчитываются стоимости цепочек (последовательностей) шагов. При этом требуется соблюдение «принципа оптимальности», который гласит, что на каждом шаге управление выбирается так, чтобы суммарный выигрыш на данном шаге с учетом всех последующих шагов был максимальным.

К наиболее характерным задачам, решаемым методом ДП, относятся:

- оптимальное распределение ресурсов (материальных, финансовых, технических) по наибольшей совокупной отдаче;
- выбор возможной траектории пути с минимальными затратами;
- оптимальное управление запасами.

Наиболее глубоко разработано и наиболее широко применяется для решения оптимизационных задач линейное программирование (ЛП). Обязательным условием для применения ЛП является линейная зависимость целевой функции от существенных переменных при наличии связывающих их линейных ограничений. Решением системы уравнений находится оптимальное решение. Метод ЛП применяется для решения задач:

- рационального использования сырья и материалов;
- оптимизации раскроя;
- оптимизации производственной программы предприятия;
- составления оптимального (т.е. минимального по суммарной стоимости) плана перевозок грузов;
- управления производственными запасами.

Многие экономические организации и системы, в том числе и техническая эксплуатация автомобилей, получающие прибыль за счет обслуживания клиентов, можно достаточно точно описать с помощью совокупности математических методов и моделей, которые получили название теории массового обслуживания (ТМО). Примерами систем массового обслуживания служат посты технического обслуживания автомобилей, посты ремонта автомобилей.

Теория массового обслуживания эффективна для оптимизации взаимодействия входящих потоков требований или заявок на обслуживание. Очень многие технологические процессы можно рассматривать как системы массового обслуживания. Случайный характер входящего потока требований, а также длительности обслуживания каналом (техническое обслуживание, ремонт)

приводит к образованию случайного процесса в системе, который необходимо исследовать.

Основными компонентами системы массового обслуживания любого вида являются: входной поток поступающих требований; дисциплина очереди и механизм обслуживания.

Главным в применении ТМО является учет случайного характера реальных процессов и их взаимодействие, что позволяет избежать больших очередей и простоев, наилучшим образом загрузить оборудование.

ТМО применяется для:

- анализа процессов единого производственного цикла с целью определения рационального количества технологического оборудования каждого вида, оптимальной вместимости буферных магазинов для размещения межоперационных запасов;
- оптимизации взаимодействия транспортных потоков и обслуживающих их устройств;
- обоснования размеров запасов сырья и продукции и управления этими запасами.

В ряде случаев возникает необходимость сделать выбор одного из нескольких возможных вариантов решения большой стоимости в условиях неопределенности комплекса объективных обстоятельств (климатические условия, возможное состояние дорог или участков, намеченных к разработке в тот или иной период, конъюнктура транспортного рынка и т.д.). Помочь максимизировать средний выигрыш или минимизировать средний риск помогают методы и критерии теории статистических решений. Теория статистических решений учитывает действие объективно существующей неопределенности, возможные выигрыши и проигрыши, называемые риском.

Большинство моделей математического программирования отличаются той особенностью, что они не рассматривают и не воспроизводят протекание исследуемых явлений и процессов во времени. Все результаты в таких моделях получают для заранее выбранного планового периода.

Модели ДП позволяют разделять решение задачи на временные этапы и находить оптимальные решения для каждого из них отдельно, согласовывая такие результаты с некоторым глобальным для всего явления или процесса критерием. Метод ДП применим только для задач, показатель эффективности в которых отвечает условиям пропорциональности и аддитивности. Однако и в этом случае не анализируется ход процесса во времени и не выявляются изменения описывающих его параметров.

Модели, основанные на принципах и методах ТМО, обеспечивают рассмотрение изменения основных вероятностных характеристик систем во времени. Однако при таком рассмотрении эти модели становятся достаточно сложными, труднообозримыми и требуют значительных затрат машинного времени. Поэтому на практике обычно изучаются системы, работающие в установившемся режиме, т.е. с неизменными во времени характеристиками.

Модели управления производственными запасами, пожалуй, единственные, где учитывается характер изменения запасов во времени. Однако в наиболее простых случаях этот характер постулируется заранее (например, равномерное уменьшение запаса с постоянной интенсивностью или равномерное его возрастание также с постоянной интенсивностью) и используется в последующем не для исследования процесса изменения всех параметров во времени, а лишь для определения локальных характеристик, таких, как оптимальный объем разовой поставки, оптимальный объем максимально хранимого запаса и т.п.

Необходимо отметить, что в ряде случаев и не ставится задача исследования протекания процессов во времени.

Между тем при планировании, и особенно при организации производства и управления производственными процессами, во многих случаях важно, а в некоторых случаях необходимо знать, как эти процессы протекают во времени.

В процессе производства могут возникнуть непропорциональные соотношения между возможностями

различных технологических операций и оборудования. Это приводит к появлению «узких мест» в цепи технологического процесса, которые заранее трудно выявить, а после того, как в ходе производства такие места выявились, еще сложнее нейтрализовать их негативное воздействие.

Выявление всех таких и им подобных несоответствий на разных стадиях организации производства возможно на основе разработки и реализации математических моделей, способных воспроизводить протекание анализируемых процессов во времени, или в пространстве, или одновременно во времени и в пространстве.

Такие модели отличаются тем, что как бы воспроизводят ход процесса во времени, позволяя представить характер его протекания. Конечно, учесть в подобного рода моделях влияние всех без исключения факторов невозможно, да в этом и нет необходимости. Важно, как и всегда при моделировании, учесть основные, определяющие влияния и воздействия. В случаях, когда это выполнено верно, получаем модель, которая как бы имитирует исследуемый процесс.

Для того, чтобы построить имитационную модель, необходимо формализовать технологический процесс, т.е. представить его структуру и характеристики таким образом, чтобы их можно было описать на формальном математическом языке. Для этого, прежде всего, необходимо указать, что в последующем под любым технологическим процессом понимается процесс последовательного изменения состояния и положения предмета труда, приводящий к тому, что исходное сырье в конечном итоге превращается на завершающей стадии в готовую конечную продукцию. При этом изменение состояния предмета труда происходит в ходе выполнения технологических операций, а изменение положения – в ходе переместительных, в результате которых предмет труда передается от одной технологической операции к другой.

Имитационное моделирование на ЭВМ применяется в случае самых сложных задач с большим количеством факторов. Примером такой задачи может быть задача планирования деятельности автопредприятия. Имитационная модель должна четко отражать структуру исследуемого процесса, взаимосвязи и взаимозависимости между элементами. Модель такого рода способна с достаточной точностью прогнозировать работу предприятия на сезон, квартал, год и более, определяя основные параметры производственного процесса на стадии его планирования. При моделировании работы предприятия, производственного процесса в целом или отдельных технологических процессов выявляются закономерности, которые не вполне адекватно оцениваются в общем или недостаточно полно учитываются при детерминированном подходе. Моделирование производственного процесса позволяет выявить особенности его реализации при заданных условиях, своевременно установить возможные «узкие» места и принять меры к их предотвращению.

Выбор той или иной модели для решения поставленной задачи определяется в конечном итоге сложностью решаемой задачи, ее структурой, поставленными целями и задачами, владением исследователем теми или иными методами исследования операций, наличием ЭВМ и программного обеспечения и др.

3.4 Вопросы для самоподготовки

1. Дайте определение математического моделирования.
2. Хорошая модель должна быть ...
3. Назовите этапы математического моделирования.
4. Назовите принципы математического моделирования.
5. Назовите виды математического моделирования.
6. Какой принцип положен в основу большинства применяемых математических методов?
7. Какие характерные задачи решаются методом ДП?
8. то является обязательным условием для применения ЛП?
9. Приведите примеры систем массового обслуживания.
10. В каких случаях применяется имитационное моделирование на ЭВМ?

4. Информационное обеспечение научного исследования

4.1 Печатная информация

Развитие человеческого общества, науки и техники неразрывно связано с накоплением информации и передачей ее от поколения к поколению. Ф. Энгельс сформулировал одну из основных особенностей развития науки – ее преемственность: «Наука движется вперед пропорционально массе знаний, унаследованной ею от предшествующего поколения».

В начале XXI века полученные знания устаревают значительно быстрее, чем в предыдущие столетия. Установлено, что в наше время примерно каждые 20 месяцев происходит удвоение объема информации. Поэтому в современных условиях необходимо уметь ориентироваться в стремительно нарастающем потоке знаний, быстро находить нужную информацию.

Подготовительный этап работы начинается со сбора информации по теме исследования, ее систематизации и анализа. Работа с научной информацией продолжается все время проведения исследования. Исходную информацию можно найти в научной литературе, периодической печати, информационных банках данных, информационных сетях, наиболее мощным и динамичным из которых является Интернет.

Научная информация сохраняется и передается с помощью опубликованных и неопубликованных источников, которые условно разделяются на *первичные*: книги, статьи, описания патентов, диссертации и т.д., и *вторичные*, содержащие сведения о первичных источниках – библиографические указатели, каталоги, картотеки, реферативные журналы, электронная информация в удаленных сетях и т.д.

Оперативным источником информации о вновь вышедших в России произведениях печати являются издания Российской книжной палаты: «Книжная летопись», «Книги Российской Федерации», «Летопись журнальных статей».

«Книжная летопись» является источником информации о вышедших в стране новых книгах, брошюрах по всем отраслям

знаний и на всех языках. Она издается в двух выпусках: основном и дополнительном. В основном выпуске регистрируется научная, учебная, политическая, научно-популярная и художественная литература. В дополнительном выпуске регистрируются ведомственные, нормативные, информационные издания и авторефераты к диссертациям.

К «Книжной летописи» обращаются в основном в том случае, когда нужно узнать, какие книги вышли в течение определенных недель или месяцев текущего года. Сведения о книгах за прошлые годы целесообразно искать в ежегоднике «Книги Российской Федерации». Однако в нем содержатся сведения только из основных выпусков «Книжной летописи».

«Летопись журнальных статей» – еженедельный библиографический указатель, содержащий статьи, документальные материалы, произведения художественной литературы, опубликованные в журналах, трудах, докладах, ученых записках, литературно-художественных альманахах, выходящих в России на русском языке.

Научная и научно-техническая информация публикуется в изданиях Всероссийского института научной и технической информации Российской академии наук (ВИНИТИ).

Реферативный журнал (РЖ) ВИНИТИ – это периодическое информационное издание, в котором публикуются рефераты, аннотации и библиографические описания, составленные на научные документы из периодических и продолжающихся изданий, книг, трудов конференций, картографических изданий, на зарубежные диссертации, патентные и нормативно-технические документы, на депонированные научные работы.

Громадные объемы научно-технической информации, выработанной человечеством, при ее сегодняшнем экспоненциальном росте делают очень актуальной проблему быстрого поиска нужной информации. Для упорядочения и систематизации печатной информации разработаны и применяются разнообразные системы ее классификации. Наиболее широкое

применение получила Универсальная десятичная классификация (УДК), которая применяется в большинстве стран мира. УДК охватывает все отрасли знаний и допускает возможность неограниченного деления на подклассы. В УДК применен принцип иерархического построения от общего к частному и используются арабские цифры. Детализация понятий осуществляется за счет удлинения индексов, при этом каждая последующая цифра не меняет значения и смысла предыдущих, а лишь уточняет их, обозначая более частное, узкое понятие.

4.2 Научно-техническая патентная информация

Патентная информация имеет юридическую и научно-техническую основу. Основной научно-технической ценностью патентной информации являются описания изобретений, которые согласно патентному законодательству не могут содержать неправильных сведений и должны отличаться новизной. Поэтому правильное и полное использование патентной информации дает возможность знакомиться с новыми разработками, обладающими мировой новизной.

Основным средством организации и поиска информации в мировом патентном фонде являются системы *классификации изобретений*. В ряде стран до настоящего времени применяются национальные патентные классификации (НПК). Однако рост объема мирового патентного фонда и развитие международного сотрудничества привели к необходимости создания единой классификации – Международной патентной классификации (МПК). МПК и НПК представляют собой многоступенчатые системы деления понятий, организованные по принципу от общего к частному, т.е. имеют иерархическую структуру.

МПК создавалась в соответствии с положениями Европейской конвенции о международной патентной классификации (1954 г.). МПК периодически пересматривается для совершенствования системы с учетом развития науки и техники. Каждые пять лет выходит очередная редакция МПК для индексирования документов

текущей регистрации. Органом по внедрению МПК является международное бюро Всемирной организации интеллектуальной собственности (ВОИС). В нашей стране МПК была введена в качестве единой государственной классификации патентной документации в 1970 г. МПК охватывает все области знаний. В информационно – поисковом языке МПК используются слова, фразы и словосочетания естественного языка, снабженные алфавитно-цифровой нотацией.

Все сферы материального производства в МПК подразделяются на разделы, классы, подклассы, группы и подгруппы.

Первый классификационный ряд состоит из восьми *разделов*, которые обозначаются прописными латинскими буквами от А до Н. Раздел подразделяется на *классы*, индексы которых состоят из индекса раздела и двухзначного числа, например, А 01. Индекс подкласса состоит из индекса класса и прописной латинской буквы, например А 01 В.

Каждый подкласс разбит на подразделения, называемые *рубриками*. Среди рубрик различают основные (главные) *группы* и *подгруппы*. Индекс основной группы состоит из индекса подкласса, за которым следует одно-, двух- или трехзначное число с символом 00 после косой черты, например, А 01 В 1/00.

Подгруппы образуют рубрики, подчиненные основной группе. Индекс подгруппы состоит из индекса подкласса, за ним следует одно-, двух - или трехзначный номер группы и двух- или трехзначный номер (вместо 00) после косой черты, например А 01 В 01/02

Патентный фонд имеет справочно-поисковый аппарат, включающий классификации изобретений (МПК, НПК), различные указатели и таблицы соответствия. В состав указателей к системам классификации входят указатель классов изобретений (УКИ), который включает перечень рубрик классификации с указанием их подчиненности, и алфавитно-предметный указатель, включающий перечень ключевых понятий (терминов), расположенных в

алфавитном порядке, и отнесенных к ним соответствующих индексов системы классификации.

4.3 Поиск и сбор научной информации

Не все окружающие нас источники информации можно использовать для подготовки научных работ. Ведь научная работа всегда имеет достаточно узкую тематическую направленность, да и качество многих источников бывает неудовлетворительным, а часть источников просто недоступна (из-за секретности).

Поиск исходных источников информации предполагает их идентификацию на основании имеющихся в распоряжении исследователя выходных данных разыскиваемого источника.

Сбор исходных источников информации - это, вероятно, одна из самых простых процедур. Для ее выполнения исследователю достаточно к определенному сроку сконцентрировать большую часть искомых источников вблизи своего рабочего места.

Систематизация - это не что иное, как упорядочение и группировка собранного материала по содержанию и с учетом последовательности его использования. В результате все собранные источники должны быть разложены по соответствующим главам.

Анализом систематизированных источников завершается рассматриваемая процедура.

Основные средства поиска, сбора, систематизации и анализа исходных источников информации. Наиболее часто при подготовке письменных работ используются библиотечные каталоги. Отчасти это объясняется тем, что библиотеки по-прежнему представляют собой наиболее полный и доступный информационный фонд. В то же время трудно отрицать очевидные удобства работы с библиотечным каталогом.

Каталог — систематизированный перечень источников, состоящих на хранении в информационном фонде и учтенных в соответствии с установленными правилами.

Алфавитный каталог — перечень библиотечных источников, систематизированных в алфавитном порядке. При этом за основу

могут быть взяты как названия (наименования) источников, так и фамилии их авторов (редакторов, составителей и пр.).

Каталог, организованный по алфавитному принципу, дает достаточно общее, если не сказать формальное описание находящихся в библиотечном фонде источников. К подобному каталогу прибегают обычно в том случае, когда располагают лишь самыми минимальными сведениями об источнике - его названии и авторе.

Тематический каталог — перечень библиотечных источников, систематизированных в тематическом порядке. За основу в этом случае принимают тематическую направленность содержания источника.

Каталог, организованный по тематическому принципу, дает описание библиотечных источников по различным отраслям и разделам знаний. Указанным каталогом пользуются в тех случаях, когда возникает необходимость за короткое время произвести обзор и отбор источников, предположительно содержащих информацию по теме научной работы.

Предметный каталог - перечень библиотечных источников, систематизированных в предметном порядке. Этот каталог используется в тех случаях, когда возникает необходимость за короткое время произвести обзор и отбор источников, самым непосредственным образом относящихся к конкретному предмету (событию, явлению и т. п.).

Хронологический каталог — перечень библиотечных источников, систематизированных в хронологическом порядке, отражающем время выхода в свет того или иного издания, чаще всего периодического. За основу в данном случае принимается дата (год) издания источника.

К подобному каталогу прибегают обычно в том случае, когда об источнике известна лишь предполагаемая или реальная дата его публикации или когда необходимо оперативно подобрать все заслуживающие внимания источники, относящиеся к определенному периоду времени.

Архивный каталог — перечень архивных библиотечных источников, систематизированных чаще всего в алфавитном (реже - хронологическом) порядке. Для отыскания требуемого источника по архивному каталогу требуется располагать либо сведениями о его названии и авторе, либо о времени выхода из даяния в свет.

Библиографический каталог — перечень библиотечных источников, содержащих в себе библиографические (описательные) сведения о наиболее важных (наиболее часто используемых в работе) книжных и периодических изданиях, состоящих на хранении и учете в данной библиотеке.

К такому каталогу прибегают в тех случаях, когда сведений общего характера об источнике (полученной из алфавитного каталога) недостаточно и требуется за короткое время получить о нем дополнительную, более обширную информацию.

Генеральный систематический каталог — перечень библиотечных источников, систематизированных в соответствии с неким основополагающим принципом, отличным от алфавитного и иных, рассмотренных выше. Очень часто в качестве такого принципа используется принадлежность того или иного источника не к условной теме, а к вполне определенной области научного знания или системе учебных дисциплин. В свою очередь, каждая область или система разделяется на рубрики, подрубрики и т. д. Генеральный систематический каталог предоставляет для поиска, сбора, анализа и систематизации требуемых источников оптимальные возможности.

Специальный каталог — перечень библиотечных источников определенного типа. Примером специального каталога может послужить каталог статей, опубликованных в периодических изданиях, состоящих на хранении и учете в данной библиотеке, или каталог новых поступлений.

Научно-справочный аппарат книги. Важную роль в процессе поиска сбора, анализа и систематизации основных и вспомогательных источников информации играет и научно справочный аппарат книги. К научно справочному аппарату книги

(от лат. apparatus - “приспособление”) принято относить различные дополнительные материалы в составе издания, информирующие читателей об особенностях его содержания, состава, структуры, функциональном предназначении источника.

Элементы научно справочного аппарата книги подразделяются на информационные, пояснительные, поисковые и вспомогательные. Информационные элементы научно справочного аппарата книги служат для того, чтобы помочь читателю составить предварительное мнение об источнике и его особенностях.

К ним относятся:

- сведения о названии источника;
- сведения об авторе (авторах) источника;
- сведения о функциональном назначении источника;
- сведения об издателях;
- краткая характеристика издания;
- выходные данные издания.

Информационные элементы научно справочного аппарата книги обычно располагаются на титульном листе и его обороте, а в ряде случаев - и в конце источника. Перечисленные сведения помогают читателю составить предварительное мнение об источнике, и о том, в частности, насколько он соответствует его целям и требованиям.

Пояснительные элементы научно-справочного аппарата книги определенным образом дополняют и разъясняют авторский (основной) текст источника. К ним относятся предисловие и послесловие. Располагаются они до и после основного текста источника. С их помощью читатель получает дополнительную характеристику содержания источника, в том числе о причинах и условиях написания.

Поисковые элементы научно справочного аппарата книги упрощают отбор необходимой читателю информации. К ним относятся содержание (оглавление) и указатели (в том числе предметные, алфавитные, указатели имен, географических названий, псевдонимов, иллюстраций и т. п.). Используя поисковые

элементы, читатель имеет возможность быстро разыскать детальную информацию, содержащуюся в источнике (например, относящуюся к определенному году, персоналии и т. п.).

В ряде случаев научно-справочный аппарат книги включает в себя *вспомогательные элементы*. Они дают возможность без задержки получить дополнительные, иногда достаточно специфические сведения об исходном источнике информации и его содержании. К таким элементам относятся и комментарии.

4.4 Изучение научной литературы

Изучение любой научной книги начинается с первоначального знакомства с ней. Такое знакомство осуществляется в два этапа.

Первый этап — это беглый просмотр научной книги с целью создания самого общего о ней впечатления, и

второй этап — более обстоятельный просмотр для уяснения основного ее содержания.

Существенную помощь в первоначальном ознакомлении с содержанием научной книги могут оказать некоторые элементы ее справочно-сопроводительного аппарата, предваряющие основной текст. Это прикнижная аннотация, предисловие и вступительная статья.

В прикнижной *аннотации* приводятся краткие сведения о содержании и читательском назначении, раскрывается основная идея, показывается научное и практическое значение изданий. Из аннотации можно уточнить его основную тему, задачи, поставленные автором, и метод, которым он пользовался, а также принадлежность к определенной научной школе (или научному направлению), общую структуру книги и т. п.

Предисловие к научной книге может даваться в различных вариантах (собственно предисловие, “от автора”, “от редактора”, “от переводчика”, “от редакции” и т. п.). В предисловии чаще всего объясняются мотивы написания книги, особенности ее содержания и построения, степень полноты освещения тех или иных проблем,

указывается круг потенциальных читателей, а также лиц, принимавших участие в создании и рецензировании издания.

Вступительная статья (одна из разновидностей предисловия) обычно предваряет труды крупного ученого или научного коллектива, отдельные произведения или собрания сочинений классиков науки. Во вступительной статье дается оценка работ, входящих в состав данного издания, характеризуется мировоззрение ученого, система его научных и общественных взглядов, перечисляются наиболее крупные труды и т. п.

При знакомстве с научной книгой особенно внимательно нужно читать ее введение, которое не принадлежит к научно-справочному аппарату такой книги, а является вступительным разделом к ее основному тексту.

Во введении к большинству научно-теоретических работ дается общая характеристика предмета исследования и краткая история его разработки в научной литературе, обосновывается актуальность темы и сообщается об источниках фактического материала, а также формулируются цель и задачи описанного исследования. Эти сведения дают возможность получить первоначальное впечатление о содержании научной книги с точки зрения существа предмета, о котором в ней идет речь.

В области техники, математики, естествознания часто приходится иметь дело со статьями, в которых обосновываются и излагаются результаты завершенных исследований. Наряду со сведениями, относящимися к ходу исследований, в таких статьях приводятся данные об апробации полученных результатов, об их состоявшейся или возможной реализации, об экономической или производственной эффективности.

На втором этапе изучения научной литературы очень полезно развивать свою память. Для лучшего запоминания разработано много различных приемов и способов.

Первое условие хорошего запоминания - это сосредоточение внимания на объекте. Если внимание сконцентрировано на характерных особенностях объекта, то их запоминание происходит

почти в 10 раз быстрее и надежнее, чем при рассеянном внимании. Конечно, нет необходимости держать в памяти повседневно всю ту массу информации, с которой исследователю приходится иметь дело. Многие из такой полезной информации можно сохранить, не перегружая свою память, если собранную научную информацию своевременно регистрировать. Формы такой регистрации различны. Это могут быть:

1) записи самого различного характера, в том числе выписки из протоколов опытов, заседаний кафедры, лабораторных журналов;

2) регистрация новой информации на специальных бланках, анкетах, магнитных лентах;

3) регистрация научной информации методами фотографии;

4) графики, рисунки, схемы и другие графические материалы;

5) расчеты, выполненные с помощью машинной техники;

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

Еще на ранней стадии организации научного исследования представляется необходимым выбрать наиболее приемлемую систему *хранения первичной документации*. Это поможет сберечь в дальнейшем много времени и облегчить пользование такого рода материалами.

4.5 Вопросы для самоподготовки

1. Назовите основные средства поиска и сбора научной информации. В чем их назначение?
2. Какую роль в процессе сбора, анализа и систематизации источников информации играет научно-справочный аппарат книги?
3. Охарактеризуйте элементы научно-справочного аппарата книги. В чем заключаются их основные функции?
4. Перечислите основные методы разметок. В чем их назначение?
5. Назовите основные формы записей прочитанных литературных источников и раскройте их содержание.

6. Каковы основные методологические приемы знакомства с научной литературой; охарактеризуйте каждый из них?
7. Перечислите некоторые приемы чтения книг, позволяющие более эффективно усваивать их содержание.
8. Раскройте технику сбора первичной научной информации ее фиксацию и хранение.

Библиографический список

1. Основы научных исследований и УНИРС. Часть II. Специальные методы и методологические подходы. Учебное пособие/ Болдин А.П., Максимов В.А.-М.: 2004.-181 с.
2. Техническая эксплуатация автомобилей: Учеб. Для ВУЗов. 4-е изд., перераб. и дополн./ Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др. – М.: Наука, 2004.-535 с.
3. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи. Волкова В.Н., Воронков В.А. и др.-М.: Радио и связь, 2003.-248 с.
4. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий/Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский.-М.: Наука, 2000.-280 с.
5. Дубров А.М. Многомерные статистические методы: учебник А.М. Дубров, В.С. Мхитарян, Л.И. Трошин.- М.: Финансы и статистика, 2005.-398 с.
6. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: пер. с англ. /[Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др.]; под ред. А.М. Хотинского, С.Б. Королёва.- М.: Финансы и статистика, 2007.-215 с.

Кохужева Римма Батырбиевна

ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

КУРС ЛЕКЦИЙ
Учебное пособие

Подписано в печать 30.06.2017. Формат бумаги 60х84/16. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Гарнитура Таймс. Усл. п.л. 8,8. Тираж 300. Заказ 00045.

Отпечатано с готового оригинал-макета
на участке оперативной полиграфии
ИП Кучеренко В.О. 385008, г. Майкоп, ул. Пионерская, 411/76.
Тел. для справок 8-928-470-36-87. E-mail: slv01.maykop.ru@gmail.com