



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Н.И. Барышникова
Е.С. Вайскрובה
А.Р. Ишбирдин
М.М. Ишмуратова

МЕТОДЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Магнитогорск
2015

Рецензенты:

Начальник отдела информации, эксперт по сертификации ФБУ «Магнитогорский ЦСМ»
Н.А. Колпакова

Доктор технических наук, профессор, декан факультета стандартизации, химии и биотехнологии,
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»
И.Ю. Мезин

Барышникова Н.И., Вайскрובה Е.С., Ишбирдин А.Р., Ишмуратова М.М.

Методы научных исследований [Электронный ресурс]: учебное пособие / Надежда Ивановна Барышникова, Евгения Сергеевна Вайскрובה, Айрат Римович Ишбирдин, Майя Мунировна Ишмуратова; ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Электрон. текстовые дан. (1,27 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2015. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования : IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

Учебное пособие предназначено для студентов направлений подготовки «Продукты питания из растительного сырья» - 260100.62, 19.03.02; «Продукты питания животного происхождения» - 260200.62, 19.03.03; «Технология продукции и организация общественного питания» - 260800.62, 19.03.04; «Товароведение» - 100800.62, 38.03.07; «Стандартизация и метрология» - 221700.62, 27.03.01; «Управление качеством» - 221400.62, 27.03.02 для изучения таких дисциплин, как «Методы и средства научных исследований» и «Статистические методы контроля и управления качеством».

Учебное пособие включает классификацию методов, характеристику измерений, описание методов сбора первичного материала, основных методов статистической обработки материала и описание специфики представления результатов научной работы.

Учебное пособие охватывает широкий круг вопросов по методам научных исследований, описательной статистике и позволяет эффективно использовать материалы в НИРС и при подготовке выпускных квалификационных работ.

УДК 658.362

© Барышникова Н.И., Вайскрובה Е.С.,
Ишбирдин А.Р., Ишмуратова М.М., 2015
© ФГБОУ ВПО «Магнитогорский
государственный технический
университет им. Г.И. Носова», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. СПЕЦИФИКА НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	5
2. МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ	6
3. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ	7
4. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И КЛАССИФИКАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА	10
5. ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕРЕНИЙ	15
6. ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН	17
7. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ	19
8. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА	21
9. ПОСТРОЕНИЕ ВАРИАЦИОННОГО РЯДА	23
10. НОРМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ	27
11. СУЩНОСТЬ И ЗНАЧЕНИЕ СРЕДНИХ ВЕЛИЧИН В СТАТИСТИКЕ	28
12. СВОЙСТВА НОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ	31
12.1. Ошибка репрезентативности выборочных параметров	33
12.2. Доверительный интервал	35
12.3. Определение точности опыта	36
12.4. Оптимальный объем выборки	36
12.5. Асимметрия и эксцесс	37
13. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ	39
13.1. Доказательство чужеродности варианты в выборке	40
13.2. Доказательство отличия двух выборок	41
13.3. Доказательство отличия нескольких выборок	43
13.4. Нахождение зависимости между признаками	46
14. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ	51
15. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О СТАТИСТИЧЕСКИХ ТАБЛИЦАХ	54
16. ГРАФИЧЕСКИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ В СТАТИСТИКЕ	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	60
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ	61
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	62
ПРИЛОЖЕНИЕ	64

ВВЕДЕНИЕ

Научно-исследовательская работа студентов является неотъемлемой частью подготовки специалиста с высшим образованием. Исследовательская работа выполняется в процессе обучения и оформляется в виде квалификационной работы (дипломной работы, магистерской диссертации), а также в виде конкурсных научных работ студента и публикаций в научной печати.

Проведение любого исследования, вне зависимости от того, требует ли оно получения количественной или качественной информации, предполагает огромную подготовительную работу, качество которой во многом определяет качество результата.

Научная работа может считаться только тогда, когда ее результаты и выводы обеспечены сбором репрезентативных данных и их статистической обработкой, подтверждающей (или опровергающей) выдвинутые исследователем гипотезы.

В пособии рассмотрены термины и определения, виды и направления научных исследований, основные изучаемые объекты и процессы, современные средства и методы, используемые в ходе исследований.

В результате работы с данным пособием студенты ознакомятся с методическим подходом к научному исследованию; приобретут навыки работы с библиотечными каталогами, научной литературой. После проработки изложенного в пособии материала студенты должны знать основные термины и понятия, уметь выбрать тему исследования, организовать эксперимент, обосновать выбор методов исследования, проанализировать и оформить полученные результаты.

1. СПЕЦИФИКА НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Наука - это специфическая деятельность людей, главной целью которой является получение знаний о реальности.

Методология науки рассматривает развитие теоретических знаний как определенную систему, для которой характерны объективные ступени абстракции и описание соответствующих явлений.

Первая ступень развития науки характеризуется накоплением фактов, описанием классификаций, объектов, явлений, событий, констатацией свойств и называется *феноменологической*, или *описательной*. Вторая ступень — *аналитико-синтетическая, предсказательная*. На этой ступени теория позволяет дать элементарное объяснение природы, свойств объектов, закономерностей явлений, а также создается возможность для предсказания возможных исходов явлений и процессов. На третьей ступени — *прогностической* - происходит моделирование основных процессов с аналитическим представлением законов и принципов, прогнозированием сроков и конечного результата процессов и явлений. Четвертая ступень - *аксиоматическая* — характеризуется высокой степенью обобщения явлений с глубоким проникновением в их сущность. Возможен точный и долгосрочный прогноз.

Знание - главный продукт научной деятельности. К продуктам науки можно отнести также *стиль рациональности*, который распространяется во все сферы деятельности людей; и различные *приборы, установки и методики*, применяемые за пределами науки, прежде всего в производстве. Научная деятельность является и источником нравственных ценностей.

Хотя наука ориентирована на получение истинных знаний о реальности, наука и истина не тождественны. *Истинное знание* может быть и ненаучным. Оно может быть получено в самых разных сферах деятельности людей: в обыденной жизни, политике, искусстве. В отличие от науки, получение знания о реальности не является главной, определяющей целью этих сфер деятельности. В искусстве, например, такой главной целью являются новые художественные ценности, в инженерном деле - технологии, изобретения, в экономике — эффективность и т.д.

Важно подчеркнуть, что определение «ненаучный» не предполагает негативную оценку. Научная деятельность специфична. Другие сферы деятельности человека - обыденная жизнь, искусство, политика и др. - имеют каждая свое предназначение, свои цели. Роль науки в жизни общества растет, но научное обоснование не всегда и не везде возможно и уместно.

История науки показывает, что научное знание не всегда является истинным. Понятие «научный» часто применяется в ситуациях, которые не гарантируют получение истинных знаний, особенно когда речь идет о теориях. Многие (если не большая часть) научные теории были опровергнуты в процессе развития науки.

Наука не признает *паранаучные* концепции: алхимию, астрологию, парапсихологию, уфологию, учение о торсионных полях и т.п. Она не признает эти концепции не потому, что не хочет, а потому, что не может, поскольку никаких достоверных, точно установленных фактов в таких концепциях нет, Возможны случайные совпадения. Однако паранаучные концепции и объекты паранауки иногда могут трансформироваться в научные концепции и предметы науки. Для этого необходимы воспроизводимость результатов экспериментов, использование научных понятий при создании теорий и предсказательность последних. Например, алхимия как паранаука о превращении элементов нашла «продолжение» в современной научной области, связанной с радиоактивным превращением элементов.

Важные черты облика современной науки связаны с тем, что сегодня она является *профессией*. До недавнего времени наука была свободной деятельностью отдельных ученых.

Она не была профессией и никак специально не финансировалась. Как правило, ученые обеспечивали свою жизнь за счет оплаты их преподавательской работы в университетах. Однако сегодня ученый — это особая профессия. В XX веке появилось понятие «научный работник». Сейчас в мире около 5 млн. людей профессионально занимаются наукой.

Для развития науки характерны противостояния различных направлений. Новые идеи и теории утверждаются в напряженной борьбе различных мнений, направлений, борьбе за признание идей.

2. МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ

Деятельность людей в любой ее форме (научная, практическая и т. д.) определяется целым рядом факторов. Конечный ее результат зависит не только от того, кто действует (субъект) или на что она направлена (объект), но и от того, как совершается данный процесс, какие способы, приемы, средства при этом применяются.

Основные стадии и формы научного познания

Предметом и целью познания является установление истины. В современном понимании это означает:

- 1) установление причинно-следственных связей, явлений и свойств, изучаемых объектов природы;
- 2) экспериментальное подтверждение истинности теоретических утверждений;
- 3) установление границ, в которых справедливы полученные выводы, т.е. определение относительности естественнонаучной истины.

Понятие метод (от греческого слова «методос»- путь к чему-либо) означает совокупность приемов или операций практического или теоретического освоения действительности. Область знания, которая специально занимается изучением методов - методология. В частности, методология естествознания - это учение о принципах построения, формах и способах естественнонаучного познания.

Основная функция метода – внутренняя организация и регулирование процесса познания или практического преобразования того или иного объекта. Понятие “научный метод” понимается как “целенаправленный подход, путь, посредством которого достигается поставленная цель. Это комплекс различных познавательных подходов и практических операций, направленных на приобретение научных знаний. В связи с этим *необходимо иметь в виду следующее*:

1. Метод, как правило, применяется не изолированно, сам по себе, а в сочетании, взаимодействии с другими.

2. Всеобщей основой, “ядром” системы методологического знания является философия как универсальный метод. При этом в научном исследовании нельзя ограничиваться только философскими принципами, но и недопустимо оставлять их “за бортом”, как нечто, не принадлежащее природе данной деятельности.

3. В своем применении любой метод модифицируется в зависимости от конкретных условий, цели исследования, характера решаемых задач, особенностей объекта, той или иной сферы применения метода (природа, общество, познание), специфики изучаемых закономерностей, своеобразия явлений и процессов (материальные или духовные, объективные или субъективные) и т.п. Тем самым содержание системы методов, используемых для решения определенных задач, всегда конкретно, ибо в каждом случае содержание одного метода или системы методов модифицируется в соответствии с природой исследуемого процесса.

3. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ

Многообразие видов человеческой деятельности обуславливает многообразный спектр методов, которые могут быть классифицированы по самым различным основаниям (критериям). Прежде всего, следует выделить методы духовной, идеальной (в том числе научной) и методы материальной (практической) деятельности. В настоящее время стало очевидным, что система методов, методология не может быть ограничена лишь сферой научного познания, она должна выходить за ее пределы и непременно включать в свою орбиту и сферу практики. При этом необходимо иметь в виду тесное взаимодействие этих двух сфер деятельности человека.

Что касается методов науки, то оснований их деления на группы может быть несколько. Так, *в зависимости от роли и места в процессе научного познания* можно выделить методы формальные и содержательные, эмпирические и теоретические, фундаментальные и прикладные, методы исследования и изложения и т.п.

Содержание изучаемых наукой объектов служит критерием для различия методов естествознания и методов социально-гуманитарных наук. В свою очередь *методы естественных наук* могут быть подразделены на методы изучения неживой природы и методы изучения живой природы и т. п. Выделяют также качественные и количественные методы, однозначно-детерминистские и вероятностные, методы непосредственного и опосредованного познания, оригинальные и производные и т.д.

К числу *характерных признаков научного метода* (к какому бы типу он ни относился) чаще всего относят: объективность, воспроизводимость, эвристичность, необходимость, конкретность и др.

В современной науке достаточно успешно “работает” многоуровневая концепция методологического знания. В этом плане все методы научного познания, по мнению В.П. Кохановского (1999), могут быть разделены на следующие основные группы (по степени общности и широте их применения).

1. Философские методы, среди которых наиболее древними являются диалектический и метафизический. По существу каждая философская концепция имеет методологическую функцию, является своеобразным способом мыслительной деятельности. Поэтому философские методы не исчерпываются двумя названными. К их числу также относятся такие методы как аналитический, интуитивный, феноменологический, герменевтический и др.

2. Общенаучные подходы и методы исследования, которые как бы выступают в качестве своеобразной “промежуточной методологии”. К общенаучным понятиям чаще всего относят такие понятия, как “информация”, “модель”, “структура”, “функция”, “система”, “элемент”, “оптимальность”, “вероятность” и др.

Характерными чертами общенаучных понятий являются, во-первых, “сплавленность” в их содержании отдельных свойств, признаков, понятий ряда частных наук и философских категорий, Во-вторых, возможность (в отличие от последних) формализации, уточнения средствами математической теории, символической логики.

На основе общенаучных понятий и концепций формулируются соответствующие методы и принципы познания, которые и обеспечивают связь и оптимальное взаимодействие философии со специально-научным знанием и его методами. К числу общенаучных принципов и подходов относятся системно-личностный и структурно-функциональный, кибернетический, вероятностный, моделирование, формализация и ряд других.

3. Частнонаучные методы – совокупность способов, принципов познания, исследовательских приемов и процедур, применяемых в той или иной науке. Это методы механики, физики, химии, биологии и социально-гуманитарных наук. Методы психолого-

педагогического исследования, о которых далее будет идти речь, относятся к частнонаучным методам.

4. Дисциплинарные методы – система приемов, применяемых в той или иной научной дисциплине, входящей в какую-нибудь отрасль науки или возникшей на стыках наук. Каждая фундаментальная наука представляет собой комплекс дисциплин, которые имеют свой специфический предмет и свои своеобразные методы исследования.

5. Методы междисциплинарного исследования – совокупность ряда синтетических, интегративных способов (возникших как результат сочетания элементов различных уровней методологии), нацеленных главным образом на стыки научных дисциплин. Широкое применение эти методы нашли в реализации комплексных научных исследований и программ.

Таким образом, методология не может быть сведена к какому-то одному, даже очень важному методу. Ученый никогда не должен полагаться на какое-то единственное учение, никогда не должен ограничивать методы своего мышления.

Общенаучные методы познания.

Наблюдение - планомерное, преднамеренное восприятие, проводимое с целью выявить существенные свойства изучаемых объектов. Но, чтобы наблюдение было результативным, его необходимо подготовить (знакомство с объектом, план наблюдений, математическое и инструментальное обеспечение, постановка задачи и т.д.).

Мышление – высшая ступень познания, оно позволяет получать знание о таких объектах, которые недоступны непосредственному восприятию. Оно дает возможность через органы чувств человека мысленно оперировать с объектами, ставить их в различные соотношения с другими объектами. Так открывается путь относительной самостоятельности теоретической деятельности, лишь косвенно связанной с эмпирическим познанием. Мышление - целенаправленное, опосредованное и обобщенное отражение в мозгу человека существенных свойств, причинных отношений и закономерных связей изучаемых объектов. Мышление оперирует понятиями, суждениями и умозаключениями.

Понятие - это мысль, отражающая общие и существенные свойства объектов и явлений. Например, химическая реакция, атом, молекула и т. д.- это понятия. Зачастую понятия трудно представить в виде конкретного образа. Например, такие понятия как добро, зло, гуманизм, красота и т.д.

Суждение - форма мысли, в которой через связь понятий что-то утверждается или отрицается. Например, ядро - это составная часть атома, в которой сосредоточена почти вся его масса и т.д.

По отношению к действительности суждение может быть истинным или ложным. К суждению человек приходит путем наблюдения или умозаключения.

Умозаключение - форма рассуждений, в ходе которых из одного или нескольких суждений (предпосылок) выводится новое суждение (заключение, следствие). Примером умозаключений являются доказательства геометрических или иных теорем, заключения экспертов. Именно на таком опосредованном познании строится вся наука. Наличие в мире причинно-следственных отношений дает возможность делать выводы о причинах, зная следствия, и наоборот, знание причин позволяет судить о возможных следствиях.

Виды умозаключения:

- Гипотеза, в которой в предположительной форме выражается сущность еще недостаточно изученной области действительности. Гипотеза, получившая достаточное подтверждение, становится теорией.

- Теория- система обобщенного знания для объяснения тех или иных сторон окружающего мира. Например, утверждение об атомном строении вещества тысячами было гипотезой, пусть и гениальной, и лишь в XX столетии это утверждение, получив

бесспорные доказательства, стало научной теорией.

Описание, объяснение, предвидение. Эмпирическое познание имеет дело с фактами и их описанием, теоретический анализ которого позволяет перейти от описания к теоретическому объяснению. Теоретическое познание предполагает выяснение внутренних противоречий вещей и явлений, предсказывает наступление определенных событий и тенденций их развития.

Измерение - сравнение объектов по каким-либо сходным свойствам или сторонам. Измерение заключается в определении количественных значений свойств изучаемых объектов, обычно с помощью специальных технических устройств. Результат измерения дается в виде некоторого числа единиц измерения. Единица измерения - эталон, с которым сравнивают измеряемую сторону объекта или явления.

Абстрагирование - процесс познания всегда начинается с рассмотрения конкретно-чувственных предметов и явлений и только потом человек приходит к обобщенным выводам и к тем или иным теоретическим представлениям, т.е. к научным абстракциям. Абстрагирование заключается в мысленном отвлечении от малосущественных свойств, сторон, признаков объекта и выделении одной или нескольких существенных сторон, признаков, свойств этого объекта. Результат абстрагирования - абстракция. Примерами абстракций могут служить виды, роды, отряды растений или животных, такие понятия как растворимость, электропроводность, активность, устойчивость и т.д.

Абстрагирование, как элемент теоретического познания включает такой элемент как идеализацию - мысленное внесение определенных изменений в изучаемый объект в соответствии с целями исследования. При этом обычно из объекта исключают второстепенные, несущественные для данного исследования свойства или наделяют объект какими-то свойствами.

Идеализация является разновидностью абстрагирования, но допускает элемент чувственной наглядности. Эта ее особенность позволяет реализовать такой специфический метод теоретического познания, как мысленный эксперимент. При этом реальные объекты замещаются идеализированными, которые мысленно ставятся в различные ситуации, что позволяет обнаружить важные свойства реальных объектов.

Формализация - использование специальной символики, позволяющей отвлекаться от изучения реальных объектов, от содержания описывающих их теоретических положений, что даёт возможность оперировать вместо этого некоторым множеством символов (знаков). Ярким примером формализации может быть использование в химических науках соответствующих формул веществ, расчеты по ним, описание возможных превращений, основанное на знании правил изображения свойств веществ химическими формулами.

Индукция (от лат. Inductio - наведение, побуждение) есть метод познания, основывающийся на формальнологическом умозаключении, которое приводит к получению общего вывода на основании частных посылок. Другими словами, это есть движение нашего мышления от частного к общему. Индукция широко применяется в научном познании. Так, если исследователь обнаруживает сходные признаки у многих объектов определенного класса, то он может сделать вывод о наличии этих признаков у всех объектов этого класса.

Родоначальником классического индуктивного метода познания был Ф. Бэкон, считавший его важнейшим методом постижения новых истин в науке, главным средством познания природы. Индукцию нельзя рассматривать изолированно от других методов, в частности, её нельзя отрывать от метода дедукции.

Дедукция (от лат. Deductio - выведение) есть метод получения частных выводов на основе знания каких-то общих положений. Это движение нашего мышления от общего к частному, единичному. Простой пример, иллюстрирующий этот метод: все щелочные металлы бурно реагируют с водой с образованием водорода и щелочи; франций относится к этой группе металлов, следовательно, он должен также реагировать с водой с образованием

тех же веществ. И индукция, и дедукция в ходе познания используются совместно, хотя роль каждого из этих методов на разных этапах может быть различна.

Под анализом понимают мысленное или реальное разделение объекта на составные части с целью их отдельного изучения.

Синтез - соединение ранее выделенных частей объекта в единое целое. Анализ и синтез используются и в сфере мысленной деятельности, т.е. в теоретическом познании.

Под аналогией понимают такой прием познания, при котором на основе сходства объектов по одним признакам заключают об их сходстве и по другим признакам. Установление сходства или различия между объектами осуществляется в результате их сравнения.

Моделирование - изучение объекта (оригинала) путем создания и исследования его копии (модели), замещающей оригинал с определенных сторон, интересующих исследователя. Моделирование может быть мысленным.

Физические модели создаются так, что имеется подобие между моделью и оригиналом, в том числе в соответствии с протекающими в них процессами. Физическое моделирование широко используется в проектировании и создании различных явлений, для предсказания поведения горных пород при взрывах и т.д.

Символическое (знаковое) моделирование связано с условно-знаковым представлением каких-то свойств, отношений объекта-оригинала. К подобным моделям относятся топологические и графовые представления (в виде графиков, номограмм, схем) исследуемых объектов.

Важной разновидностью знакового моделирования является *математическое моделирование*. Символический язык математики позволяет выражать отношения свойств различных объектов с помощью соответствующих уравнений. Система уравнений вместе с соответствующими данными (коэффициенты, начальные условия) представляет математическую модель соответствующего явления.

Очень широкое распространение получило *численное моделирование на ЭВМ*. Оно основано на ранее созданной математической модели изучаемого объекта и применяется в случае больших объемов вычислений. Для применения этого способа моделирования необходимы соответствующие программы для ЭВМ. Численное моделирование особенно важно там, где не совсем ясна физическая картина явления, недостаточно понят внутренний её механизм. Путем расчёта на ЭВМ проводят накопление фактов и отбор наиболее реальных ситуаций, что позволяет сокращать сроки научных и конструкторских разработок.

Эксперимент - метод или прием исследования, с помощью которого объект или воспроизводится искусственно, или ставится в заранее определенные условия. Меняя условия, можно вскрыть характерные свойства объекта, которые могут и не проявляться в обычных условиях. Таким образом, эксперимент не сводится к обычному наблюдению, он активно вмешивается в реальность, изменяет условия протекания процесса.

Современная наука и техника создали мощную экспериментальную базу, с которой в первую очередь связан прогресс научных исследований. Отставание в этой области приводит к снижению уровня науки и, как следствие, к отставанию страны в целом от наиболее развитых стран.

4. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И КЛАССИФИКАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Научная деятельность начинается с наблюдения. Наиболее ценно наблюдение в том случае, когда влияющие на него условия точно контролируются. Это возможно, если условия постоянны, известны и их можно изменять по желанию наблюдателя. Наблюдение,

проведенное в строго контролируемых условиях, называется **экспериментом**. Важнейшей частью научных исследований является эксперимент, основой которого служит научно поставленный опыт с точно учитываемыми и управляемыми условиями.

Эксперимент (от лат. *Experimentum*) — проба, опыт. В научном языке и исследовательской работе термин «эксперимент» обычно используется в значении, общем для целого ряда сопряженных понятий: опыт, целенаправленное наблюдение, воспроизведение объекта познания, организация особых условий его существования, проверка предсказания. В это понятие вкладывается научная постановка опытов и наблюдение исследуемого явления в точно учитываемых условиях, позволяющих следить за ходом явлений и воссоздавать его каждый раз при повторении этих условий.

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

Постановка и организация эксперимента определяются его назначением. Эксперименты, которые проводятся в различных отраслях науки, являются химическими, биологическими, физическими, психологическими, социальными и т.п.

Они различаются:

- 1) по способу формирования условий (естественных и искусственных);
- 2) по целям исследования (преобразующие, констатирующие, контролирующие, поисковые, решающие);
- 3) по организации проведения (лабораторные, натурные, полевые, производственные и т.п.);
- 4) по структуре изучаемых объектов и явлений (простые, сложные);
- 5) по характеру внешних воздействий на объект исследования (вещественные, энергетические, информационные);
- 6) по характеру взаимодействия средства экспериментального исследования с объектом исследования (обычный и модельный);
- 7) по типу моделей, исследуемых в эксперименте (материальный и мысленный);
- 8) по контролируемым величинам (пассивный и активный);
- 9) по числу варьируемых факторов (однофакторный и многофакторный);
- 10) по характеру изучаемых объектов или явлений (технологические, социометрические) и т.п.

Конечно, для классификации могут быть использованы и другие признаки.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Эксперименты могут быть *открытыми* и *закрытыми*, они широко распространены в психологии, социологии, педагогике. В открытом эксперименте его задачи открыто объясняются испытуемым, в закрытом - в целях получения объективных данных эти задачи скрываются от испытуемого.

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

В сложном эксперименте изучаются явления и объекты с разветвленной структурой и большим количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, выполняющих сложные функции. Высокая степень связности элементов приводит к тому, что изменение состояния какого-либо элемента или связи влечет за собой изменение состояния многих других элементов системы.

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

Вещественный эксперимент предполагает изучение влияния различных факторов на состояние объекта исследования.

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

Обычный (классический) эксперимент включает экспериментатора как познающего субъекта; объект или предмет экспериментального исследования и средства (инструменты, приборы, экспериментальные установки), при помощи которых осуществляется эксперимент. В обычном эксперименте экспериментальные средства непосредственно

воздействуют с объектом исследования. Они являются посредниками между экспериментатором и объектом исследования.

Модельный эксперимент в отличие от обычного имеет дело с моделью исследуемого объекта. Модель входит в состав экспериментальной установки, замещая не только объект исследования, но часто и условия, в которых изучается некоторый объект. Модельный эксперимент при расширении возможностей экспериментального исследования одновременно имеет и ряд недостатков, связанных с тем, что различие между моделью и реальным объектом может стать источником ошибок.

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

Орудиями *мысленного (умственного) эксперимента* являются мысленные модели исследуемых объектов и явлений. Для обозначения мысленного эксперимента иногда пользуются терминами: идеализированный или воображаемый эксперимент. Мысленный эксперимент используется не только учеными, но и писателями, художниками, педагогами, врачами. Мысленное экспериментирование ярко проявляется в мышлении шахматистов. Огромна роль мысленного эксперимента в техническом конструировании и изобретательстве.

Материальный эксперимент имеет аналогичную структуру. Однако в эксперименте используются материальные, а не идеальные объекты исследования. Основное отличие материального эксперимента от мысленного в том, что реальный эксперимент представляет собой форму объективной материальной связи сознания с внешним миром. Сходство мысленного с реальным в значительной мере определяется тем, что всякий реальный эксперимент, прежде чем быть осуществленным на практике, сначала проводится человеком мысленно в процессе обдумывания и планирования. Поэтому мысленный эксперимент нередко вступает в роли идеального плана реального эксперимента, в известном смысле предваряя его.

Пассивный эксперимент предусматривает измерение только выбранных показателей (параметров, переменных) в результате наблюдения за объектом без искусственного вмешательства в его функционирование. Примерами пассивного эксперимента является наблюдение: за интенсивностью, составом, скоростями движения транспортных потоков; за числом заболеваний; за работоспособностью определенной группы лиц; за показателями, изменяющимися с возрастом и т.п. Пассивный эксперимент, по существу, является наблюдением, которое сопровождается инструментальным измерением выбранных показателей состояния объекта исследования.

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

Однофакторный эксперимент предполагает: выделение нужных факторов; стабилизацию мешающих факторов; поочередное варьирование интересующих исследователя факторов.

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

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

Социометрический эксперимент используется для измерения существующих межличностных социально-психологических отношений в малых группах с целью их последующего измерения.

Приведенная классификация экспериментальных исследований не может быть признана полной, поскольку с расширением научного знания расширяется и область применения экспериментального метода. Кроме того, в зависимости от задач эксперимента

различные его типы могут объединяться, образуя *комплексный* или *комбинированный* эксперимент.

Для проведения эксперимента любого типа необходимо:

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

Особое значение имеет правильная разработка методик эксперимента.

Методика — это совокупность мыслительных и физических операций, размещенных в определенной последовательности, в соответствии с которой достигается цель исследования.

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

Правильно разработанная методика экспериментального исследования предопределяет его ценность. Поэтому разработка, выбор, определение методики должно проводится особенно тщательно. Необходимо убедиться в том, что она соответствует современному уровню науки, условиям, в которых выполняется исследование. Целесообразно проверить возможность использования методик, применяемых в смежных проблемах и науках.

Выбрав методику эксперимента, исследователь должен удостовериться в ее практической применимости, так как она может оказаться неприемлемой или сложной в силу специфических особенностей климата, помещения, лабораторного оборудования, персонала, объекта исследований и т.д.

Перед каждым экспериментом составляется его план (программа), который включает: цель и задачи эксперимента; выбор варьирующих факторов; обоснование объема эксперимента, числа опытов; порядок реализации опытов, определение последовательности измерения факторов; выбор шага изменения факторов, задавание интервалов между будущими экспериментальными точками; обоснование способов обработки и анализа результатов эксперимента.

Применение математической теории эксперимента позволяет уже при планировании определенным образом оптимизировать объем экспериментальных исследований и повысить их точность.

Важным этапом подготовки к эксперименту является определение его целей и задач. Количество задач для конкретного эксперимента не должно быть слишком большим (лучше 3...4).

Необходимо также обосновать набор средств измерений (приборов) другого оборудования, машин и аппаратов. В отдельных случаях возникает потребность в создании уникальных приборов, установок, стендов для разработки темы.

Методы измерений должны базироваться на законах науки — метрологии, изучающей средства и методы измерений.

При экспериментальном исследовании одного и того же процесса (наблюдения и измерения) повторные отсчеты на приборах, как правило, неодинаковы. Отклонения объясняются различными причинами — неоднородностью свойств изучаемого тела (материал, конструкция и т.д.), несовершенностью приборов и классов их точности, субъективными особенностями экспериментатора и др. Чем больше случайных факторов, влияющих на опыт, тем больше расхождения цифр, получаемых при измерениях, т.е. тем больше отклонения отдельных измерений от среднего значения. Это требует повторных измерений, а следовательно, необходимо знать их минимальное количество. Под потребным минимальным количеством измерений понимают такое количество измерений, которое в данном опыте обеспечивает устойчивое среднее значение измеряемой величины, удовлетворяющее заданной степени точности. Установление потребного минимального количества измерений имеет большое значение, поскольку обеспечивает получение наиболее объективных результатов при минимальных затратах времени и средств.

Обработка и анализ экспериментальных данных сводится к систематизации всех цифр, классификации. Результаты экспериментов должны быть сведены в удобочитаемые формы записи — таблицы, графики, формулы, номограммы, позволяющие быстро и доброкачественно сопоставлять и проанализировать результаты. Все переменные должны быть оценены в единой системе единиц физических величин.

5. ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Дмитрий Иванович Менделеев о значении измерений для науки говорил: «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точная наука немислима без меры». А английский физик В. Томсон (Кельвин) указал на то, что «каждая вещь известна лишь в той степени, в какой ее можно измерить».

Измерение следует отличать от других приемов количественной характеристики величин, применяемых в тех случаях, когда нет однозначного соответствия между величиной и ее количественным выражением в определенных единицах. Так, визуальное определение скорости ветра по *шкале Бофорта* или твердости минералов по *шкале Мооса* следует считать не измерением, а *оценкой*.

При исследовании приходится иметь дело с измерением физических величин. Под физической величиной понимается особенность, свойство, общее в качественном отношении многим физическим явлениям, объектам, физическим системам, их состояниям и т.п., но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта. Примерами физических величин служат масса, плотность, интервал времени, вязкость и др.).

Под измерением физической величины понимают последовательность операций, выполняемых опытным путем при помощи технических средств, специально предназначенных для этой цели, по нахождению с известной точностью значения физической величины, характеризующей исследуемый объект или явление. (Измерить физическую величину — это значит найти опытным путем значение физической величины, используя специальные технические средства).

Измерение начинают с приведения технического средства измерения во взаимодействие с исследуемым объектом. В результате возникает измерительный сигнал на входе средства измерения. Оканчивают измерение при получении информации о физической величине в виде значения величины и оценки погрешности этого значения.

Строго говоря, законченное измерение включает несколько элементов: собственно физический объект (явление), свойство или состояние которого характеризует измеряемая величина; единицу этой величины; технические средства измерений, проградуированные в

этих единицах; метод измерения и, наконец, наблюдателя (регистрирующее устройство), воспринимающего результат измерений.

Наличие субъекта (исследователя), производящего измерения, не всегда является обязательным. Он может и не принимать непосредственного участия в процессе измерения, если измерительная процедура включена в работу автоматической информационно-измерительной системы. Последняя строится на базе электронно-вычислительной техники. Причем с появлением сравнительно недорогих микропроцессорных вычислительных устройств в измерительной технике стало возможным создание «интеллектуальных» приборов, в которых обработка данных измерений производится одновременно с чисто измерительными операциями.

Различают следующие виды измерений: прямые, косвенные, совокупные и совместные, статистические и динамические.

Прямым измерением называют измерение физической величины, при котором входной измерительный сигнал уже содержит информацию об измеряемой физической величине, например измерения температуры физического объекта термометром, давления газа в сосуде манометром, атмосферного давления барометром, массы тела взвешиванием на рычажных весах и т.д. (т.е. при прямых измерениях искомую величину устанавливают непосредственно из опыта).

Косвенным измерением называют измерение физической величины, при котором искомое значение вычисляют с помощью известной зависимости между искомой величиной и величинами подвергаемыми прямым измерением. Например, вычисление значения электрической мощности постоянного тока по показаниям амперметра и вольтметра, определение удельного электрического сопротивления цилиндрического проводника прямыми измерениями длины, диаметра поперечного сечения и электрического сопротивления проводника (при косвенных измерениях искомую величину устанавливают функционально от других величин, определенных прямыми измерениями).

Под *совокупным измерением* понимают измерение нескольких одноименных физических величин, состоящее из прямых измерений различных сочетаний этих величин. Например, определение масс отдельных гирь по известному значению массы одной гири и разности масс нескольких целесообразно выбранных сочетаний гирь.

Совместным измерением понимают измерение, состоящее из прямых измерений нескольких величин в изменяющихся условиях и последующего нахождения зависимости между этими величинами. Например, определение температурной зависимости электрического сопротивления путем его измерения при различных температурах.

Кроме того, различают измерения постоянной или мало изменяющейся физической величины, называемые *статистическими измерениями*, и измерения переменной во времени величины, называемые *динамическими измерениями*. Примеры статистических измерений: измерения размеров физического объекта, постоянного давления манометром, остающегося постоянным действующего напряжения переменного тока вольтметром. Примеры динамических измерений: измерения вибраций, пульсирующих давлений.

Выделяется несколько основных методов измерения.

Метод непосредственной оценки соответствует определению значения величины непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия (например, измерение массы на циферблатных весах).

При использовании метода сравнения с мерой измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой (например, измерение массы на рычажных весах с уравниванием гирями).

При методе противопоставления осуществляется сравнение с мерой (измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор, с помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами, как, например,

при измерении массы на равноплечных весах с помещением измеряемой массы и гирь на двух противоположных чашках весов).

При дифференциальном методе на измерительный прибор воздействует разность измеряемой и известной величины, воспроизводимой мерой (например, измерения, выполняемые при проверке мер длины сравнением с образцовой мерой на компараторе).

При нулевом методе результирующий эффект воздействия величины на прибор доводят до нуля (например, измерение электрического сопротивления мостом с полным его уравниванием).

При методе замещения измеренную величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой (например, взвешивание с поочередным помещением измеряемой массы и гири на одну и ту же чашку весов).

При методе совпадений разность между измеряемой величиной и величиной воспроизводимой мерой измеряется с использованием совпадения отметок шкал или периодических сигналов.

Результат измерения получается в виде некоторого числа единиц измерения.

Единица измерения — это эталон, с которым сравнивается измеряемая сторона объекта или явления (эталону присваивается числовое значение "1").

Существует множество единиц измерения, соответствующее множеству объектов, явлений, их свойств, сторон, связей, которые приходится измерять в процессе научного познания. При этом единицы измерения подразделяются на:

- а) *основные* - выбираются в качестве базисных при построении системы единиц;
- б) *производные* - выводимые из других единиц с помощью каких-то математических соотношений.

Вопрос об обеспечении единообразия в измерении величин, отражающих те или иные явления материального мира, всегда был очень важным. В настоящее время действует преимущественно Международная система единиц (СИ), принятая в 1960 г. XI Генеральной конференцией по мерам и весам.

Международная система единиц физических величин является наиболее совершенной и универсальной из всех существовавших до настоящего времени. Она охватывает физические величины механики, термодинамики, электродинамики и оптики, которые связаны между собой физическими законами.

6. ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Неотъемлемой частью экспериментальных исследований являются *средства измерений*, т.е. совокупность технических средств, имеющих нормированные погрешности, которые дают необходимую информацию для экспериментатора.

Можно выделить две группы средств измерений:

- средства измерения, позволяющие непосредственно определить испытуемый показатель (например, пресс для определения прочности материалов);
- средства измерения, которые дают возможность косвенно судить об исследуемом показателе (например, ультразвуковые дефектоскопы позволяют оценить прочность материала по скорости прохождения ультразвука).

К средствам измерений относят меры, измерительные приборы, установки и системы. Простейшим средством измерения является мера, предназначенная для воспроизведения физической величины заданного размера (например, гиря - мера массы).

Выходной сигнал средств измерения фиксируется отчетными устройствами, которые бывают шкальными, цифровыми и регистрирующими. Шкала является важной частью

прибора. Расстояние в миллиметрах между двумя смежными отметками на шкале называют длиной деления шкалы. Разность между значениями измеряемой величины, соответствующую началу и концу шкалы, называют *диапазоном показаний прибора*.

Предметом исследования в науке являются самые разные объекты. При всем разнообразии их характеристик они делятся на качественные (цвет, наличие признака) и количественные (вес, длина, площадь, объем, скорость изменения). Рассмотрим только количественные величины.

Для определения абсолютного значения некоторой физической величины ее сравнивают с эталоном, который считается единицей величины. Например, единицей длины является метр, времени – секунда и т.д. При этом нужно понимать, что в процессе эксперимента экспериментатор сравнивает измеряемую величину не с основным эталоном, а с показаниями некоторого прибора – вторичным эталоном, который через иерархию других эталонов может быть приведен к первичному эталону.

Измерения могут быть выполнены как однократно, так и многократно.

Однократное измерение дает единственный результат, который принимают за окончательный результат измерения значения искомой величины.

Многократное измерение проводят путем повторения однократных измерений одной и той же постоянной физической величины, оно приводит к получению набора данных. Окончательный результат многократного измерения, как правило, находят из набора данных в виде среднего арифметического результатов всех отдельных измерений.

Физические величины, встречающиеся в эксперименте, относят к следующим основным типам.

Случайная величина. Такая физическая величина связана со случайными процессами, поэтому результат отдельного измерения не может быть однозначно предсказан заранее. Вместе с тем проведение достаточно большого количества измерений случайной величины позволяет установить, что результаты измерений отвечают определенным статистическим закономерностям. Их выявление, изучение и учет составляют неотъемлемую часть любого эксперимента. В качестве случайных величин можно рассматривать, например, скорость молекулы газа в фиксированный момент времени, отклонение значения амплитуды сетевого напряжения от номинальной величины, время, необходимое для распада ядра радиоактивного атома, и т.п.

Постоянная величина. К таким величинам должны быть отнесены физические постоянные, например, скорость света в вакууме, заряд электрона, постоянная Больцмана и т.п. Можно считать постоянными величинами также некоторые характеристики конкретного объекта, находящегося при фиксированных условиях. Этот тип физических величин чаще всего встречается в экспериментах, например, при определении длины образца, его массы, теплоемкости и т.п. Однако многократные измерения постоянной величины могут дать неодинаковые результаты. Дело в том, что результаты измерений подвержены неконтролируемым, а значит, неучтенным, влияниям многочисленных воздействий внешней среды, включая неконтролируемые процессы в исследуемых объектах и используемых измерительных приборах. Вследствие этого постоянная величина зачастую проявляет себя как случайная величина, а результаты ее измерений отражают случайную природу воздействий и отвечают определенным статистическим закономерностям. Именно поэтому для обработки результатов измерения постоянной величины естественно использовать методы, характерные для обработки результатов измерения случайной величины.

Изменяющаяся (переменная) величина. Такая величина закономерно меняется с течением времени вследствие процессов, проходящих в исследуемом объекте. Примерами могут служить: скорость сложной химической реакции, затухание амплитуды колебаний свободного маятника и т.п. Измерения, проводимые в различные моменты времени, фиксируют величину в новых условиях. Набор результатов однократных измерений

представляет собой результаты принципиально неповторимых измерений, так как время нельзя повернуть вспять, а измерение в целом не может расцениваться как многократное.

Особого внимания заслуживает нестабильная величина. Она меняется с течением времени без каких бы то ни было статистических закономерностей. К основной характеристике нестабильной величины следует отнести отсутствие у экспериментатора информации о ее зависимости от времени. Измерения такой величины дают набор данных, не несущих сколько-нибудь полезных сведений. Вместе с тем нестабильная величина может быть переведена в разряд изменяющихся величин, если экспериментально или теоретически установлена закономерность в зависимости ее от времени.

7. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Погрешность – количественная характеристика неоднозначности результата измерения. Ее оценивают исходя из всей информации, накопленной при подготовке и выполнении измерений. Эту информацию обрабатывают для совместного определения окончательного результата измерения и его погрешности. Окончательный результат нельзя расценивать как “истинное значение” измеряемой физической величины, так как в этом нет смысла из-за наличия погрешности.

Основные типы погрешностей:

Промахи или грубые погрешности – возникают вследствие неисправности измерительных приборов или ошибок в эксперименте, сделанных по невнимательности. Естественно стремление избегать промахи, но если стало понятно, что они все-таки допущены, соответствующие им результаты измерений необходимо отбросить и при возможности повторить эксперимент в этой области значений.

Приборная погрешность – систематическая погрешность, присутствующая в результатах измерений, выполненных с помощью любого измерительного прибора. Приборная погрешность, как правило, неизвестна и не может быть учтена. Ее можно оценить только путем сравнения показаний прибора с показаниями другого, более точного. Иногда результаты специально проведенного сравнения приводят в паспорте прибора, однако чаще указывают максимально возможную погрешность для приборов данного типа.

Модельная погрешность. В основу любого экспериментального исследования, сопряженного с измерениями, заложена модель. Модель содержит физическое описание исследуемого объекта или процесса, которое позволяет составить его математическое описание, а именно, набор функциональных соотношений, включающих физические величины. Неверно построенная модель, в которой не нашли отражения какие-то важные процессы или факторы, влияющие на результат измерений, также приводит к несоответствиям. Как следствие, измеряемые в эксперименте величины, вычисляемые по полученным из модели рабочим формулам, содержат погрешности, которые носят название модельных погрешностей. К разряду модельных может быть отнесена погрешность взвешивания на рычажных весах. Согласно закону Архимеда вес тела и гирь уменьшается из-за действия выталкивающей силы воздуха. Напомним, что вес 1 м^3 воздуха равен примерно 10 ньютонов. Для того чтобы правильно найти массу взвешиваемого тела, нужно ввести поправки на потерю веса гирями и самим телом. Вместе с тем, как и при любых измерениях, здесь необходим разумный подход. Например, при работе с грубыми техническими весами бессмысленно вводить поправку на Архимедову силу, так как она окажется много меньше погрешностей, вносимых в результат измерения гирями и самими весами.

Случайные погрешности – при повторных измерениях погрешности этого типа показывают свою случайную природу. Возникают они вследствие множества причин, совместное воздействие которых на каждое отдельное измерение невозможно учесть или

заранее установить. Такими причинами могут оказаться, к примеру, незначительные колебания температуры различных деталей и узлов установки, скачки напряжения, вибрации, турбулентные движения воздуха, трение в механизмах, ошибки считывания показаний приборов и т.п. Единственно возможный способ объективного учета случайных погрешностей состоит в определении их статистических закономерностей, проявляющихся в результатах многократных измерений. Рассчитанные статистические оценки вносят в окончательный результат измерения.

Измерительные приборы (отчетные устройства) характеризуются такими свойствами, как величина погрешности, величина точности, стабильность измерений и чувствительность.

1. Погрешности приборов бывают абсолютными и относительными.

Под *абсолютной погрешностью* измерительного прибора принимается величина:

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

где x_n - показательная прибора (номинальное значение измеряемой величины);

x_d - действительное значение измеренной величины, полученное более точным методом.

Погрешность средства измерения - одна из важнейших его характеристик. Она возникает вследствие недоброкачественных материалов, комплектующих изделий, применяемых для приготовления приборов; неудовлетворительной эксплуатации, неправильной установки измерительной аппаратуры и др.

Существенное влияние оказывают градуировка шкалы и периодическая поверка приборов. Кроме этих *систематических* погрешностей возникают *случайные*, обусловленные сочетаниями различных факторов — ошибками отсчета, вариацией, колебаниями температуры и т.д. Таким образом, необходимо рассматривать не какие-либо отдельные, а суммарные погрешности приборов, (т.е. случайные погрешности оцениваются методами математической статистики по данным многократных измерений). Систематические погрешности исключают введением поправок, найденных экспериментально.

Относительная погрешность определяется отношением:

$$b_{отн} = \pm (x_n - x_d) 100 / x$$

Суммарные погрешности, установленные при нормальных условиях ($t_b=20^\circ\text{C}$; влажность воздуха 80%; $p=1,01325 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$), называют *основными погрешностями прибора*.

Результаты измерений из-за погрешностей всегда несколько отличаются от истинного значения измеряемой величины, поэтому результаты измерения обычно сопровождают указанием оценки погрешности.

Диапазоном измерений называют ту часть диапазона показаний прибора, для которой установлены погрешности прибора (если известны погрешности прибора, то диапазон измерений и показаний прибора совпадает). Диапазон измерений является важной характеристикой прибора. Если шкала измерений изменяется от 0 до N, то в характеристике на прибор диапазон указывают в пределах 0...N. Ряд приборов с нижним пределом измерения 0 имеет большую погрешность в интервале 0...25% от верхнего предела измерений. Поэтому имеется много приборов без нижнего нулевого предела измерений. Приборы нельзя перегружать, хотя некоторые приборы выдерживают перегрузки, но со временем погрешности у верхнего предела измерений существенно возрастают.

Разность между максимальным и минимальным показаниями прибора называют *размахом*. Если эта величина непостоянная, т.е. если при обратном ходе имеется увеличение или уменьшение хода, то эту разность называют *вариацией показаний (W)*. Величина W — это простейшая характеристика погрешности прибора.

2. Чувствительность прибора, т.е. способность отсчитывающего устройства реагировать на изменения измеряемой величины. Под порогом чувствительности прибора понимают наименьшее значение измеренной величины, вызывающее изменение показания прибора, которое можно зафиксировать.

3. Стабильность (воспроизводимость прибора) - это свойство отсчетного устройства обеспечивать постоянство показаний одной и той же величины. Со временем в результате старения материалов стабильность показаний приборов нарушается. Стабильность прибора определяется вариацией показаний. Поэтому при установлении стабильности нормируют величину *допускаемой вариации* W_d . Поскольку вариация принимается с одним знаком, а допускаемая погрешность имеет положительные или отрицательные значения, то $W_d = 0,5b_d$, где b_d — допустимая относительная погрешность прибора.

4. Величина точности. Средства измерения делятся на классы точности. *Класс точности* - это обобщенная характеристика, определяемая пределами основной и дополнительных допускаемых погрешностей, влияющих на точность.

На все измерительные приборы в той или иной мере действует *магнитное поле*. Поэтому ряд электроизмерительных приборов должен быть защищен от действия магнитного поля, а также электростатических явлений.

В последние годы при исследованиях различных процессов стали широко применяться электрические, электронные, частотные, радиоизотопные и другие приборы. Такие приборы, как правило, требуют дополнительной защиты от пыли, вибрации, газа, снега и др. отсутствие такой защиты может вызвать погрешности, превышающие допустимые. Все средства измерения (приборы, используемые для измерения в научных исследованиях) проходят *периодическую поверку* на точность.

Такая поверка предусматривает определение и по возможности уменьшение погрешностей приборов. Поверка позволяет установить соответствие данного прибора регламентированной степени точности и определяет возможность его применения для данных измерений, т.е. определяются погрешности, и устанавливается, не выходят ли они за пределы допускаемых значений.

Поверку средств измерений производят на различных уровнях — от специальных государственных организаций до низовых звеньев. На высокоточные измерительные средства государственные метрологические организации выдают специальное свидетельство, в котором после поверки указывают номинальные значения измеряемой величины, класс точности, предельную допускаемую погрешность, результаты поверки погрешности прибора в виде таблиц, вариации измерений.

Для приборов меньшей ответственности свидетельство может не выдаваться и заменяться лишь указанием о том, что прибор удовлетворяет требованиям стандарта или инструкции. Прибор снабжается клеймом поверки.

8. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА

Статистика — это наука о том, как обрабатывать данные. Статистические методы активно применяются в технических исследованиях, экономике, социологии, медицине, биологии, геологии, истории и т.д. С обработкой результатов наблюдений, измерений, испытаний, опытов, анализов имеют дело специалисты во всех отраслях практической деятельности, почти во всех областях научных исследований. При этом в каждой из этих отраслей для решения специальных задач сложились свои правила и особенности применения статистического аппарата.

Статистический анализ является заключительной стадией статистического исследования. Он включает в себя обработку полученных в исследованиях или эксперименте

статистических данных, интерпретацию полученных результатов с целью получения объективных выводов о состоянии изучаемого явления и закономерностях его развития. В процессе статистического анализа изучаются структура, динамика и взаимосвязь явлений и процессов.

Краткая история математической статистики. Статистика существовала еще в глубокой древности, однако, как наука она возникла лишь в 17 веке. Термин «статистика» произошел от латинского слова «статус», т.е. состояние, определенное положение вещей. В науку термин введен немецким ученым Готфридом Ахенвалем, который в 1746 г. начал читать в Марбукском, а затем в Геттингенском университетах новую дисциплину, названную им «статистика».

Математическая статистика как наука начинается с работ знаменитого немецкого математика Карла Фридриха Гаусса (1777-1855гг.), который на основе теории вероятностей исследовал и обосновал метод наименьших квадратов, созданный им в 1795 г. и примененный для обработки астрономических данных (с целью уточнения орбиты малой планеты Церера). Его именем часто называют одно из наиболее популярных распределений вероятностей – нормальное, а в теории случайных процессов основной объект изучения – гауссовские процессы.

В конце XIX в. – начале XX в. крупный вклад в математическую статистику внесли английские исследователи, прежде всего К. Пирсон (1857-1936 гг.) и Р.А. Фишер (1890-1962 гг.). В частности, Пирсон разработал критерий «хи-квадрат» проверки статистических гипотез, а Фишер – дисперсионный анализ, теорию планирования эксперимента, метод максимального правдоподобия оценки параметров.

В 30-е годы XX в. поляк Ежи Нейман (1894-1977 гг.) и англичанин Э. Пирсон развили общую теорию проверки статистических гипотез, а советские математики академик А.Н. Колмогоров (1903-1987 гг.) и член-корреспондент АН СССР Н.В. Смирнов (1900-1966 гг.) заложили основы непараметрической статистики. В сороковые годы XX в. румын А. Вальд (1902-1950 гг.) построил теорию последовательного статистического анализа.

Математическая статистика бурно развивается и в настоящее время. Так, за последние 40 лет можно выделить четыре принципиально новых направления исследований:

- разработка и внедрение математических методов планирования экспериментов;
- развитие статистики объектов нечисловой природы как самостоятельного направления в прикладной математической статистике;
- развитие статистических методов, устойчивых по отношению к малым отклонениям от используемой вероятностной модели;
- широкое развертывание работ по созданию компьютерных пакетов программ, предназначенных для проведения статистического анализа данных.

Внутренняя структура статистики как науки была выявлена и обоснована при создании в 1990 г. Всесоюзной статистической ассоциации.

Математическая статистика исходит из сформулированных в 1930-50 гг. постановок математических задач, происхождение которых связано с анализом статистических данных. Начиная с 70-х годов XX в. исследования по математической статистике посвящены обобщению и дальнейшему математическому изучению этих задач.

В настоящее время статистическая обработка данных проводится, как правило, с помощью соответствующих программных продуктов (например, широко применяемых в практике и доступных MS *Excell* и *Statistica*).

Генеральная совокупность - множество однородных объектов, из которого можно выделить некоторое подмножество, называемое *выборочной совокупностью* или *выборкой*. Более строгое с математической точки зрения определение выборки звучит так: выборкой называют последовательность независимых одинаково распределенных случайных величин.

Объемом совокупности (генеральной или выборочной) называется число ее объектов.

Выборочным методом называется метод исследования общих характеристик генеральной совокупности на основе изучения свойств выборки. Статистическое исследование в центр внимания всегда ставит выборку. Основная особенность выборки как множества значений случайной величины – это отличие отдельных вариантов друг от друга, явление *изменчивости*. Причиной изменчивости является воздействие на случайную величину систематического (доминирующего) фактора и отклоняющих ее случайных факторов.

Например, генеральную совокупность могут составлять качественные показатели всей продукции, произведенной по единой технологии на аналогичном оборудовании разных производителей. Выборками могут служить показатели продукции (например, массовая доля отдельных ингредиентов), произведенной за смену на одной единице оборудования.

9. ПОСТРОЕНИЕ ВАРИАЦИОННОГО РЯДА

Первым этапом статистического изучения явления служит построение вариационного ряда - упорядоченного распределения единиц совокупности по возрастающим (чаще) или по убывающим (реже) значениям признака и подсчет числа единиц с тем или иным значением признака.

Промежуток $X_{\text{набл}} = [X(1) - X(n)] = [X_{\text{min_набл}} - X_{\text{max_набл}}]$ между крайними членами вариационного ряда называется *интервалом варьирования*, его длина $W_n = X(n) - X(1) = X_{\text{max_набл}} - X_{\text{min_набл}}$ называется *размахом выборки*.

Крайние члены вариационного ряда $X_{\text{min_набл}} = X(1) = \min\{x_k\}$ для $k=1...n$ и $X_{\text{max_набл}} = X(n) = \max\{x_k\}$ для $k=1...n$ называются *экстремальными значениями*.

Характеристиками вариационного ряда являются *средние величины*. В исследованиях обычно применяются различные виды средних величин: средняя арифметическая, средняя геометрическая, медиана, мода и другие. Наиболее распространенными являются средняя арифметическая, медиана и мода.

Средняя арифметическая применяется в тех случаях, когда между определяющим свойством и данным признаком имеется прямо пропорциональная зависимость.

Средняя арифметическая представляет собой частное от деления суммы величин на их число и вычисляется по формуле (1):

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1)$$

где $\bar{x}$ - средняя арифметическая; X_i - результаты отдельных наблюдений; Σ - сумма результатов всех наблюдений (приемов, действий); n - количество наблюдений (приемов, действий).

Характеристиками вариационного ряда являются также медиана и мода.

Медианой (Me) называется мера среднего положения, характеризующая значение признака на упорядоченной (построенной по признаку возрастания или убывания) шкале, которое соответствует середине исследуемой совокупности. Медиана может быть определена для порядковых и количественных признаков. Место расположения этого значения определяется по формуле (2):

$$Me_{\text{набл}} = X_{(m)}, \quad (2)$$

где $m = (n+1)/2$ при нечетном n , $Me_{\text{набл}} = (x_{(m)} + x_{(m+1)})/2$, где $m = n/2$ при четном n .

Пример. Для вариационного ряда 3-3-3-4-4-4-4-5-5-5-5-6-6-6-6 $m=16/2=8$, восьмое и девятое значение в вариационном ряду – 4 и 5. $Me_{набл} = (4+5)/2=4,5$,

Мода (Mo) – наиболее часто встречающееся типичное значение признака среди других значений. Она соответствует классу с максимальной частотой. Этот класс называется модальным значением.

Пример. Если на вопрос анкеты: “Какой шоколад Вы предпочитаете?”, ответы распределились:

1 – горький	– 25
2 – темный	– 54
3 – молочный	– 253
4 – с наполнителем	– 173
5 – белый	– 28

Очевидно, что наиболее типичным значением здесь является – “молочный”, которое и будет модальным.

Существуют три формы вариационного ряда: ранжированный ряд, дискретный ряд, интервальный ряд.

Ранжированный ряд - это перечень членов вариационного ряда в порядке возрастания (убывания) изучаемого признака. Если признак принимает небольшое число целых значений, строится дискретный вариационный ряд.

Любое статистическое исследование должно начинаться с установления характера распределения изучаемых признаков. Распределение – это соотношение между значениями случайной величины и частотой их встречаемости. Статистическая теория началась с идеи подсчитать, как часто случается то, или иное событие. Бóльшая повторяемость одних значений по сравнению с другими заставляет задумываться о причинах, о закономерностях наблюдаемых процессов. В качестве первичного описания любого явления может выступить частотное распределение. Если значения признака откладывать по оси абсцисс, а частоты их встречаемости по оси ординат, то можно построить *гистограмму*, частотную диаграмму, удобную для целей иллюстрации и исследования.

Основой для построения гистограммы служит вариационный ряд – представленный в виде таблицы ряд значений изучаемого признака (первый столбец), расположенных в порядке возрастания с соответствующими им частотами их встречаемости в выборке (второй столбец).

Пример. Изучение качества макаронных изделий дало следующие результаты (показатель - число деформированных макарон в 1 пачке):
5565564445646646455853655555636464625653763468635565438475431653456744656465.

Для дискретного признака (число деформированных макарон) строится вариационный ряд с учетом встречаемости конкретных значений:

Число деформаций, x	1	2	3	4	5	6	7	8
Частота, a	1	1	8	16	23	21	3	3

Гистограмма, построенная по данным о частоте деформаций (рисунок 1), сразу же обнаруживает характерное поведение случайной величины – высокие частоты встречаемости значений в центре распределения и низкие по периферии.

Если численность дискретных единиц совокупности достаточно велика, ранжированный ряд становится громоздким. В таких случаях вариационный ряд строится с помощью группировки единиц совокупности по значениям изучаемого признака.

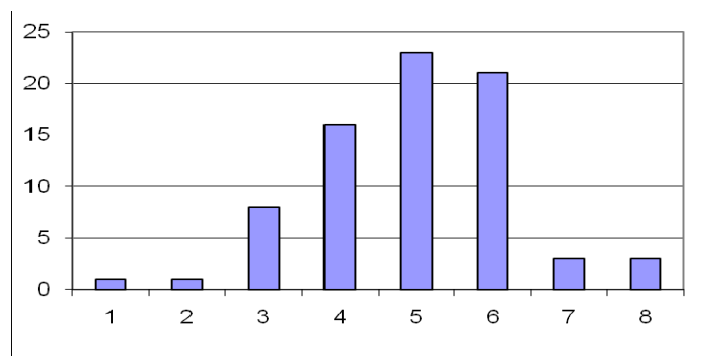


Рис. 1. Распределение числа деформаций макарон

Если же изучаемый признак непрерывен (таковы размерно-весовые характеристики), то для построения вариационного ряда сначала преобразуют его в интервальный ряд. Весь диапазон изменчивости признака разбивается на серию равных интервалов (классов вариант), затем подсчитывают, сколько вариант попало в каждый интервал.

Определение числа групп. Число групп в дискретном вариационном ряду определяется числом реально существующих значений варьирующего признака (как в примере с распределением частоты деформаций). Если же признак может принимать хотя и дискретные значения, но их число очень велико (например, поголовье скота на 1 января года в разных сельхозпредприятиях может составлять от нуля до десятков тысяч голов) или вариационный ряд состоит из непрерывных размерно-весовых характеристик, тогда строится интервальный вариационный ряд.

При построении интервального вариационного ряда необходимо выбрать оптимальное число групп (интервалов признака) и установить длину интервала. Поскольку при анализе вариационного ряда сравнивают частоты в разных интервалах, необходимо, чтобы величина интервала была постоянной. Оптимальное число групп выбирается так, чтобы в достаточной мере отразилось разнообразие значений признака в совокупности и в то же время закономерность распределения, его форма не искажалась случайными колебаниями частот. Если групп будет слишком мало, не проявится закономерность вариации; если групп будет чрезмерно много, случайные скачки частот исказят форму распределения.

Чаще всего число групп в вариационном ряду устанавливают, придерживаясь формулы (3), рекомендованной американским статистиком Стерджессом (Sturges):

$$k = 1 + 3,32 \cdot \lg(n), \quad (3)$$

где k - число групп; n - объем выборки.

Эта формула показывает, что число групп - функция объема данных.

Предположим, необходимо построить вариационный ряд распределения веса куриных яиц (Таблица 1) (без сортового разбора):

Выполнить эту процедуру можно в среде программы Excel в следующей последовательности: ввести вариационный ряд (B1:BC1); определить объем выборки, минимальное и максимальное значения ряда, интервал (разница между максимальным и минимальным значениями). Ввести в ячейку C6 формулу расчета числа классов вариационного ряда и определить интервал класса. Определить правые границы классов, последовательно суммируя, начиная с минимального значения, правую границу и интервал класса.

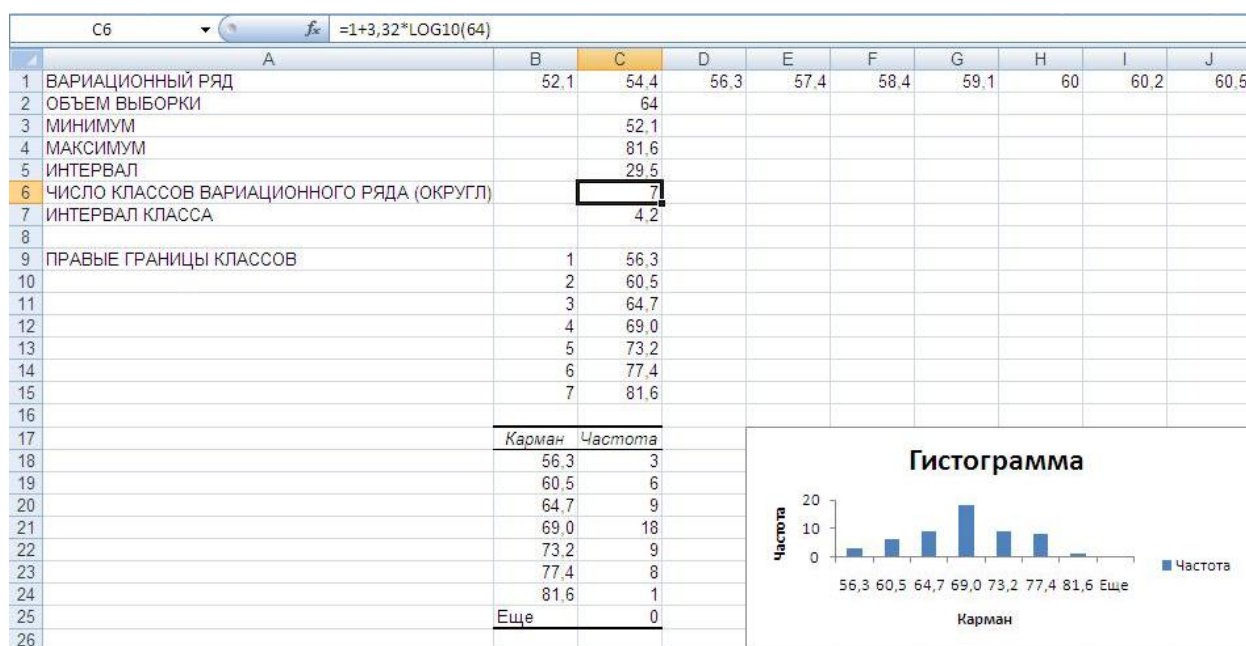
Таблица 1

Вариационный ряд распределения веса куриных яиц

№	вес, г	№	вес, г	№	вес, г
1	52,1	19	64,8	37	69,1
2	54,4	20	65,1	38	69,5
3	56,3	21	65,4	39	69,6
4	57,4	22	65,6	40	71,2
5	58,4	23	65,8	41	71,4
6	59,1	24	65,9	42	71,5
7	60,0	25	66,2	43	71,6
8	60,2	26	66,6	44	71,7
9	60,5	27	66,8	45	72,4
10	60,7	28	67,2	46	73,7
11	60,8	29	67,3	47	73,8
12	60,8	30	67,4	48	74,1
13	61,0	31	67,6	49	74,9
14	61,2	32	67,7	50	75,2
15	61,3	33	68,0	51	75,4
16	62,3	34	68,1	52	75,9
17	63,7	35	68,3	53	77,1
18	64,0	36	68,8	54	81,6

Для подсчета частот на листе Excel следует вызвать программу (макрос) построения вариационного ряда командой меню Данные (Сервис) - Анализ данных - Гистограмма и заполнить окно. Каждое действие выполняется в два приема. Сначала нужно установить курсор в нужное окошко, щелкнув туда мышкой, затем мышкой же выделять соответствующие диапазоны ячеек листа Excel, нажимая левую кнопку над первой ячейкой диапазона и отпуская над последней.

В качестве "Входного интервала" задать массив ячеек, содержащих исходные значения вариант (B1:BC1). "Интервал карманов" – это блок значений правых границ классовых интервалов (C9:C15). Для "Выходного интервала" достаточно указать мышью одну ячейку (B17), это будет верхняя левая ячейка для блока результатов подсчета частот. После этого нажать ОК. Если все сделано правильно, появятся представленные ниже результаты. Однако необходимо помнить, что на листе Excel значения частот ставятся в соответствие не центрам классовых интервалов, но их правым (большим) границам.



10. НОРМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

Представленные в таблице и на гистограммах предыдущего раздела данные распределения частот показывают характерную для многих признаков форму распределения: чаще встречаются значения средних интервалов признака, реже - крайние; малые и большие значения признака. Форма этого распределения близка к рассматриваемому в курсе математической статистики закону нормального (или Гауссова) распределения.

Закон нормального распределения выступает центральной моделью для строгого описания действительности, хотя статистическая теория предлагает множество других математических моделей.

Когда говорят, что данный признак имеет нормальное распределение, подразумевается, что "стохастическое поведение" этой случайной величины очень хорошо описывается формулой (4):

$$p = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-t^2/2} \quad (4)$$

аппроксимирующей специфическое соотношение между значениями (плотностью) непрерывной случайной величины (t) и частотой (вероятностью) встречаемости ее значений (p).

Форма нормального распределения - характерная "колоколообразная кривая" (рисунок 2).

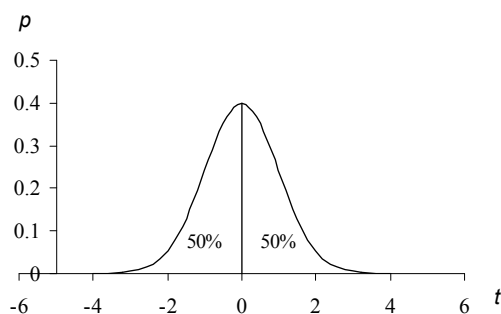


Рис. 2. Нормальное распределение

Практика показывает, что эта формула подходит к очень большому числу количественных характеристик. Модель нормального распределения чаще других используют для описания случайных событий. Ее применение (предположение о "нормальности" изучаемых признаков) дает в руки исследователя множество полезных и удобных инструментов решения задач. Это и интервальная оценка для прогноза ожидаемых значений случайной величины, и метод расчета наиболее теоретически обоснованных общих характеристик выборки (средних, дисперсий) и показателей сопряженной изменчивости разных признаков (корреляции), и пр. На идее нормального распределения базируются конструкции всевозможных статистических критериев для сравнения параметров разных выборок и проверки статистических гипотез. Кроме нормального закона статистической наукой обнаружены другие виды поведения случайных величин, которые основаны либо на том или ином допущении о нарушении условий формирования нормального закона, либо на специфическом преобразовании случайной величины, исходно распределенной нормально.

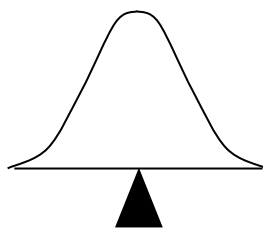
В большинстве случаев, связанных с измерениями в естественных дисциплинах, можно говорить о нормальном законе.

11. СУЩНОСТЬ И ЗНАЧЕНИЕ СРЕДНИХ ВЕЛИЧИН В СТАТИСТИКЕ

Точная форма нормального распределения определяется только двумя параметрами: *средним арифметическим* и *средним квадратичным отклонением* (стандартным) отклонением.

Из нескольких видов средних (средняя арифметическая – простая и взвешенная, средняя гармоническая, средняя квадратичная) в практике естественнонаучных исследований наибольшее значение имеет средняя арифметическая величина, вокруг которой "концентрируются" варианты.

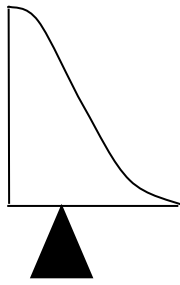
Физической аналогией может послужить такой образ средней арифметической для признака с нормальным распределением: средняя – это та точка *вырезанного из картонки распределения*, опираясь на которую левая и правая симметричные половинки уравнивают друг друга:



При полном соответствии распределения нормальному значения средней арифметической, медианы и моды совпадают. Поэтому сравнение этих величин может послужить простейшим тестом соответствия изучаемого распределения нормальному.

Дисперсия и среднее квадратичное отклонение. Среднее квадратичное отклонение (или *стандартное отклонение*, σ) – вторая по значению константа вариационного ряда. Она является мерой разнообразия входящих в группу объектов и показывает, на сколько в *среднем* отклоняются варианты от средней арифметической изучаемой совокупности.

Продолжим рассмотрение физической аналогии, предложенной для средней. Разрежем вырезанное из картонки нормальное распределение по вертикальной линии строго пополам, начиная с точки средней арифметической. Стандартное отклонение для признака с нормальным распределением – это та точка *половинки* вырезанной из картонки фигуры распределения, опираясь на которую левая и правая *несимметричные* части уравнивают друг друга.



Дисперсия равна среднему квадрату отклонений значения варианты от среднего значения. Она выступает как одна из характеристик индивидуальных результатов разброса значений исследуемой переменной вокруг среднего значения. Дисперсией часто пользуются в расчетах, но более удобна характеристика *среднее квадратичное отклонение*, т.к. оно имеет ту же размерность, что и исходные величины. Расчет непосредственно среднего отклонения от средней арифметической невозможен по той причине, что равновероятные отклонения вправо и влево от средней дают в сумме нуль.

Вычисление дисперсии осуществляется путем определения: отклонения от среднего значения; квадрата указанного отклонения; суммы квадратов отклонения и среднего значения квадрата отклонения (таблица 2).

Таблица 2

Пример вычисления дисперсии

п/п	Значение показателя	Отклонение от среднего	Квадрат отклонения
1	1	$2 - 1 = +1$	1
2	3	$2 - 3 = -1$	1
3	3	$2 - 3 = -1$	1
4	0	$2 - 0 = +2$	4
5	4	$2 - 4 = -2$	4
6	1	$2 - 1 = +1$	1
$\sum_{i=1}^n x_i = 12$		$\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 = 12$	
$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 2$		$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n - 1} = 2,4$	

Значение дисперсии используется в различных статистических расчетах, но не имеет непосредственного наблюдаемого характера. Величиной, непосредственно связанной с содержанием наблюдаемой переменной, является среднее квадратичное отклонение.

Среднее квадратичное отклонение подтверждает типичность и показательность средней арифметической, отражает меру колебания численных значений признаков, из которых выводится средняя величина. Оно равно корню квадратному из дисперсии и определяется по формуле (5):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}; \quad (5)$$

где: σ – средняя квадратичная.

При малом числе наблюдения (действий) – менее 100 – в значении формулы следует ставить не “n”, а “n – 1”.

Оценивая результаты исследования важно определить рассеивание случайной величины около среднего значения. Это рассеивание описывается с помощью закона Гаусса (закона нормального распределения вероятности случайной величины). Суть закона заключается в том, что при измерении некоторого признака в данной совокупности элементов всегда имеют место отклонения в обе стороны от нормы вследствие множества неконтролируемых причин, при этом, чем больше отклонения, тем реже они встречаются.

Стандартное отклонение – величина именованная, поэтому с ее помощью можно сравнивать характер варьирования лишь одних и тех же признаков. Чтобы сопоставить изменчивость разнородных признаков, выраженных в различных единицах измерения, а также нивелировать влияние масштаба измерений, используют так называемый **коэффициент вариации** (CV), безразмерную величину, отношение выборочной оценки стандартного отклонения к собственной средней:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (6)$$

Пример. В таблице 3 приведены размерно-весовые характеристики яиц куриных. Вычислить средние величины распределений и уровень изменчивости признаков.

Таблица 3

Размерно-весовые характеристики яиц куриных

№	вес, г	ширина, мм	№	вес, г	ширина, мм	№	вес, г	ширина, мм
1	52,1	41	19	64,8	43	37	69,1	44
2	54,4	42	20	65,1	44	38	69,5	45
3	56,3	44	21	65,4	44	39	69,6	44
4	57,4	43	22	65,6	44	40	71,2	44
5	58,4	43	23	65,8	45	41	71,4	44
6	59,1	44	24	65,9	45	42	71,5	45
7	60,0	42	25	66,2	45	43	71,6	46
8	60,2	43	26	66,6	45	44	71,7	46
9	60,5	42	27	66,8	45	45	72,4	45
10	60,7	45	28	67,2	45	46	73,7	45
11	60,8	43	29	67,3	44	47	73,8	46
12	60,8	43	30	67,4	46	48	74,1	45
13	61,0	43	31	67,6	45	49	74,9	47
14	61,2	44	32	67,7	45	50	75,2	46
15	61,3	45	33	68,0	46	51	75,4	45
16	62,3	44	34	68,1	44	52	75,9	46
17	63,7	45	35	68,3	44	53	77,1	47
18	64,0	45	36	68,8	45	54	81,6	48

Расчеты можно провести в среде Excel. Для этого создадим по столбцам массивы данных веса и ширины яиц (A1:A54) и (B1:B54). В свободные ячейки (A56 и A57) через опцию «вставка функций» (fx) из статистических категорий вставим, соответственно СРЗНАЧ и СТАНДОТКЛОН для блока данных. Введя в ячейку A58 формулу, рассчитаем коэффициент вариации признака. Выделив ячейки (A56:A58) переведем расчеты в блок B56:B58.

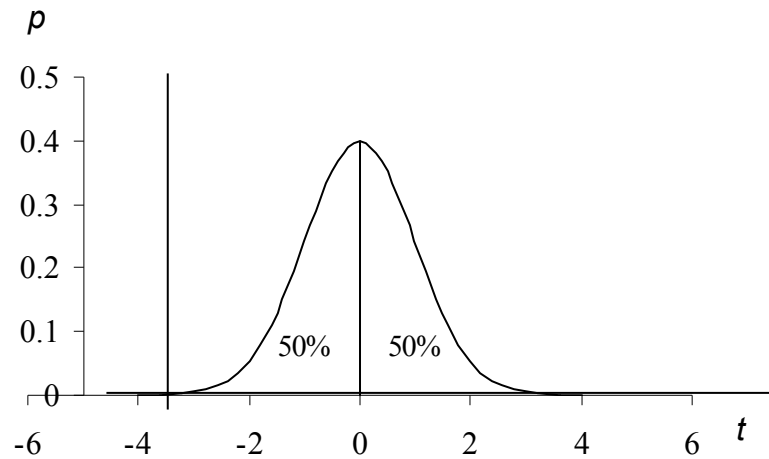
	B58		fx		=B57/B56*100	
	A	B	C	D	E	
43	71.6	46				
44	71.7	46				
45	72.4	45				
46	73.7	45				
47	73.8	46				
48	74.1	45				
49	74.9	47				
50	75.2	46				
51	75.4	45				
52	75.9	46				
53	77.1	47				
54	81.6	48				
55						
56	66.6	44.5	СРЗНАЧ			
57	6.2	1.3	СТАНДОТКЛ			
58	9.3	3.0	КОЭФИЦИЕНТ ВАРИАЦИИ			
59						

Из результатов видно, что вес яиц более изменчивый признак, чем ширина.

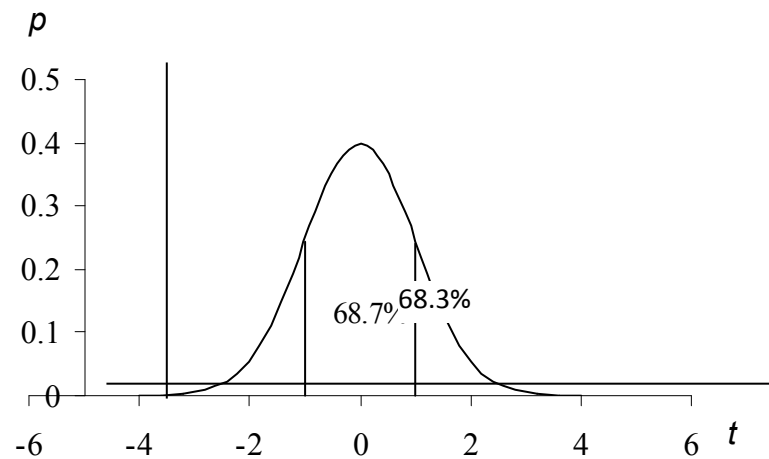
12. СВОЙСТВА НОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Уравнение нормального распределения определяет ход кривой линии, имеющей характерную колоколообразную форму, т.е. позволяет вычислить *ординаты нормальной кривой*, или "плотность вероятности" (p). Вероятность – численная мера возможного, определяется как отношение числа вариантов (исходов испытаний) определенного вида к общему числу вариантов (опытов). Поскольку нормальное распределение характерно для непрерывных случайных величин, говорят не о вероятности какого-то определенного значения варианты, но о "плотности вероятности", отражая тем самым плавность изменения вероятности значений для разных значений t , чем ближе к центру распределения, тем плотность вероятности выше. С помощью уравнения плотности вероятности можно рассчитать (интегрируя) вероятность появления нового значения случайной величины в том или ином интервале значений t . Итак, формула количественно выражает вполне определенные свойства поведения случайной величины, из которых можно назвать следующие практически важные следствия:

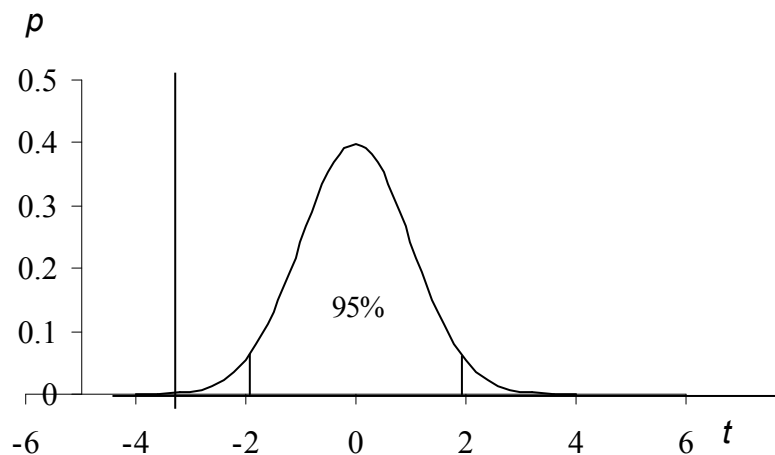
1. Все варианты лежат в интервале плюс-минус бесконечность. Иными словами, с вероятностью $P=1$ ($P=100\%$) мы вправе ожидать появление новой варианты в пределах от $-\infty$ до $+\infty$. Слева и справа от средней арифметической лежит по 50% вариантов, т.е. с вероятностью $P=0,5$ (50%) можно предсказать появление новой варианты в интервалах $\bar{x}-\infty$ и $\bar{x}+\infty$.



2. В интервале от $\bar{x}-1S$ до $\bar{x}+1S$ лежат 68,3% всех вариантов; с вероятностью $P=0,683$ ($P=68,3\%$) можно прогнозировать появление новой варианты на расстоянии $\pm 1S$ от средней, или в диапазоне $\bar{x} \pm S$.



3. Между $\bar{x}-1,96\sigma$ до $\bar{x}+1,96\sigma$ лежит 95% вариант. Это позволяет с 95%-ной вероятностью предполагать, что новая вариантa окажется в интервале $\bar{x} \pm 1,96\sigma$ (округленно $\bar{x} \pm 2\sigma$ – так называемое правило двух стандартных отклонений).



4. С вероятностью $P=0,99$ значение новой варианты будет заключено в пределах $\bar{x} \pm 2,58\sigma$ и с вероятностью $P=0,999$ – в интервале $\bar{x} \pm 3,3\sigma$.

Исходя из сказанного, можно оценить вероятность появления новых значений признака. В отношении непрерывных случайных величин (метрических признаков) эта процедура сводится к так называемой интервальной оценке. Для полученных ранее характеристик, массы куриных яиц, средней $\bar{x} = 66,6$ и стандартного отклонения $\sigma = 6,2$ (г), находим доверительные интервалы: $\bar{x} \pm 1\sigma = 66,6 \pm 6,2$, $\bar{x} \pm 1,96\sigma = 66,6 \pm 12,1$. Новое значение признака с вероятностью $P=0,68$ ожидается в пределах 60,4–72,8 г., а с вероятностью $P=0,95$ – между 54,5 и 78,7 г.

Важнейшее значение для практического применения имеет "соглашение о 95%". В соответствии с ним совокупности, состоящей из 95% объектов, мы доверяем так же, как и 100%-ной. Термин "*доверительная вероятность $P=0,95$* " означает, что, согласно принятому допущению, 95% вариант достаточно полно характеризуют изучаемое явление (в данном случае изменчивость веса куриных яиц), что позволяет ограничиться рассмотрением вариант в области $\bar{x} \pm 1,96\sigma$, охватывающей эту 95%-ную совокупность.

При этом в биометрии обычно довольствуются доверительной вероятностью $P=0,95$ (уровень значимости $\alpha=0,05$), хотя в наиболее ответственных исследованиях принимают и более строгие уровни – $P=0,99$ и $P=0,999$. Однако это имеет смысл лишь при очень больших выборках исходных данных, точно описывающих закономерности изменчивости признаков. Обычно же выборки не очень велики, что позволяет ограничиться меньшей степенью доверительной вероятности $P=0,95$.

"Уровень значимости" – понятие, альтернативное доверительной вероятности и, соответственно, составляет разность между единицей и доверительной вероятностью ($\alpha=1-P$). Для доверительной вероятности 0,95 уровень значимости составляет 0,05, а для 0,99 и 0,999 – соответственно 0,01 и 0,001. Уровень значимости, равный 0,05 (5%), можно интерпретировать так: имеется всего 5% шансов, что полученная величина не будет соответствовать изучаемой совокупности. Уровень значимости – это тот теоретический процент вариант нормального распределения, который можно отбросить, не учитывая, дабы с меньшими усилиями получить основную информацию об изучаемом явлении. Можно потратить очень много времени на поиски яйца весом в 100 г, но так и не собрать выборку, достаточную по объему, чтобы это реализовать (рекордный вес куриного яйца зарегистрирован на Кубе – 148 г). Поэтому использование доверительной вероятности и уровня значимости можно назвать средством (теоретической базой) разумного ограничения материала (времени и масштабов исследования), позволяющего получить достоверную общую информацию за счет исключения ничтожной доли частной (излишне конкретной). В итоге такой прием дает возможность найти границы нормальной изменчивости изучаемых признаков и отбросить ошибочные, наведенные и артефактные значения.

12.1. Ошибка репрезентативности выборочных параметров

По части (выборке) никогда не удастся полностью охарактеризовать целое, всегда остается вероятность того, что оценка генеральной совокупности на основе выборочных данных недостаточно точна, имеет некоторую большую или меньшую ошибку. Такие ошибки, представляющие собой ошибки обобщения, экстраполяции, связанные с перенесением результатов, полученных при изучении выборки, на всю генеральную совокупность, называются ошибками репрезентативности (репрезентативность – степень соответствия выборочных показателей генеральным параметрам). Отличия значений выборочных параметров от генеральных называются ошибкой репрезентативности данного параметра, или просто (статистической) ошибкой.

Если для каждой из нескольких выборок одной генеральной совокупности рассчитать средние значения получим разные величины. Эти отличия и есть ошибки репрезентативности, связанные с неточностью оценок по небольшим выборкам. Если теперь

мы найдем среднеквадратичное отклонение этих отдельных средних от общей, оно будет характеризовать средний диапазон отклонения выборочных оценок от генеральных значений. Эта величина называется ошибкой средней арифметической (или стандартной ошибкой) и является по существу *средним квадратичным отклонением множества выборочных средних от генеральной средней*. На практике обычно нет возможности делать несколько выборок и вычислять несколько выборочных средних, чтобы по ним проводить расчеты. Статистическая теория показывает, что ошибка средней в $\sqrt{n}$ раз меньше, чем стандартное отклонение. Значит, ошибку можно рассчитать для единичной отдельной выборки по формуле (7):

$$m_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

Статистические ошибки служат мерой тех пределов, в которых выборочные частные оценки могут отклоняться от параметров генеральной совокупности. Как следует из конструкции расчетной формулы, величина ошибки тем больше, чем больше варьирование признака (σ) и чем меньше выборка (n). При увеличении объема выборки ошибки репрезентативности стремятся к нулю (следствие закона больших чисел).

Ошибку репрезентативности имеют все статистические параметры, рассчитанные по выборке: средняя, стандартное отклонение, коэффициент вариации, показатели асимметрии и эксцесса. Для разных типов распределений расчетные формулы могут немного изменяться. Для нормального распределения они имеют следующий вид:

$$\text{ошибка средней: } m_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}},$$

$$\text{ошибка стандартного отклонения: } m_{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{2 \cdot n}},$$

$$\text{ошибка коэффициента вариации: } m_{CV} = \frac{CV}{\sqrt{2 \cdot n}}.$$

Вычисленные значения ошибок подставляют к соответствующим параметрам со знаками плюс-минус (параметр $\pm$ ошибка) и в такой форме представляют в научных отчетах и публикациях.

Вернемся к примеру с весом куриных яиц и определим соответствующие ошибки:

$$\text{средней арифметической: } m_{\bar{x}} = \frac{6,2}{\sqrt{54}} = 0,84, \bar{x} = 66,6 \pm 0,8 \text{ г};$$

$$\text{стандартного отклонения: } m_{\sigma} = \frac{6,2}{\sqrt{2 \cdot 54}} = 0,59, \sigma = 6,2 \pm 0,6 \text{ г};$$

$$\text{коэффициента вариации: } m_{CV} = \frac{9,6}{\sqrt{2 \cdot 54}} = 0,92, CV = 9,6 \pm 0,9 \text{ \%}.$$

Не следует путать статистическую ошибку с методическими ошибками и ошибками точности (точности измерений, анализов, подсчетов и т. д.), хотя методические погрешности и увеличивают ошибку репрезентативности, но другим путем – методические огрехи увеличивают изменчивость признака, стандартное отклонение. Чем лучше взята выборка, чем больше ее размеры, т. е. чем вернее отражает она генеральную совокупность (все явление, весь процесс в полном объеме), тем меньше статистическая ошибка и расхождение между значениями признаков в выборочной и генеральной совокупностях. При всей неизбежности статистической ошибки она может быть сведена к минимуму отбором достаточного числа особей (вариант). С ростом объема выборки оценки параметров стабилизируются, а их ошибки репрезентативности уменьшаются.

12.2. Доверительный интервал

При конкретных наблюдениях параметры генеральной совокупности остаются неизвестными, о них судят по выборочным оценкам, используя для этого величину ошибок репрезентативности. Границы, в которых с той или иной вероятностью находится параметр генеральной совокупности, называются доверительными, а интервал, заключенный между этими границами, – доверительным интервалом. Теоретические исследования поведения выборочных средних (как случайных величин) показали, что они подчиняются нормальному закону, большинство из них (95%) находится поблизости от генеральной средней – в диапазоне $\bar{x}_{ген.} \pm 1,96 \cdot m$. Это обстоятельство позволяет делать обратное заключение – генеральная средняя находится в диапазоне $\bar{x}_{выбор.} \pm 1,96 \cdot m$, т.е. предсказывать ширину интервала, в котором находится генеральный параметр, давать *интервальную оценку* генеральному параметру. В соответствии с законом нормального распределения можно ожидать, что генеральный параметр (истинное значение) окажется в интервале:

$$\text{от } \bar{x} - T \cdot m \text{ до } \bar{x} + T \cdot m, \quad (8)$$

где m – ошибка средней арифметической, T – квантиль распределения Стьюдента (Приложение) при данном числе степеней свободы (df) и уровне значимости (обычно $\alpha=0,05$).

Сказанное можно перефразировать так: с вероятностью $P=0,95$ можно ожидать, что генеральная средняя находится в доверительном интервале $\bar{x} \pm T \cdot m$, построенном вокруг выборочной средней арифметической M .

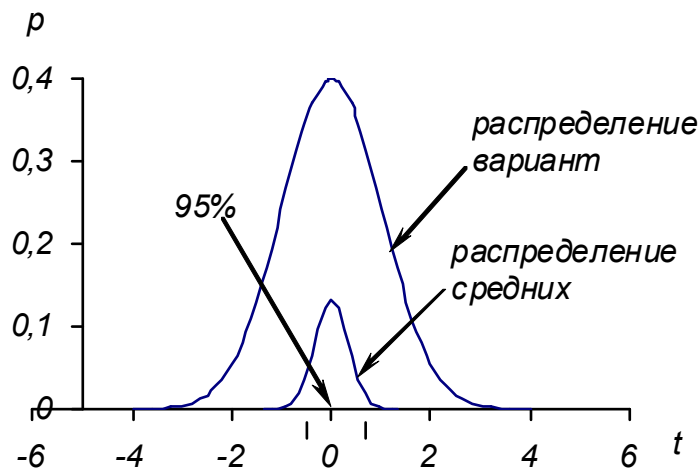
Возвращаясь к примеру о весе куриных яиц, мы теперь можем записать доверительные интервалы при разных уровнях вероятности (границные значения T взяты для случая $n=\infty$):

Для $P=0,95$ $\bar{x} \pm T \cdot m = 66,6 \pm 1,96 \cdot 0,84 = 66,6 \pm 1,6$ г;

Для $P=0,99$ $\bar{x} \pm T \cdot m = 66,6 \pm 2,58 \cdot 0,84 = 66,6 \pm 2,2$ г;

Для $P=0,999$ $\bar{x} \pm T \cdot m = 66,6 \pm 3,30 \cdot 0,84 = 66,6 \pm 2,8$ г.

Таким образом, искомая генеральная средняя величина веса яиц с вероятностью $P=95\%$ находится в пределах 65,0-68,2 г, с вероятностью $P=99\%$ – 64,4-68,8, для $P=99,9\%$ – 63,8-69,4 г.



Если объем выборки, для которой были получены параметры и вычислялась ошибка репрезентативности m , был невелик ($n < 500$), то необходимо вводить поправки на объем выборки, расширяя область возможного пребывания генерального параметра. Это понятно, поскольку при дефиците информации любые заключения не могут быть очень точными. Рассчитаем доверительный интервал для тех же данных, но с объемом $n=54$ экз. Ошибка средней арифметической составит:

$$m_{\bar{x}} = \frac{6,2}{\sqrt{54}} = 0,8 \text{ г}, \bar{x} = 66,6 \pm 0,8 \text{ г}.$$

При уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $df = n-1 = 54-1 = 53$ табличная величина статистики Стьюдента равна $T = 2,008$, тогда доверительный интервал составит:

$$\bar{x} \pm T \cdot m = 66,6 \pm 2,008 \cdot 0,8 = 66,6 \pm 1,7 \text{ г} - \text{от } 64,9 - 68,3 \text{ г}.$$

Аналогичным образом можно построить доверительный интервал для стандартного отклонения, коэффициента вариации, а также других статистических параметров (коэффициентов асимметрии, эксцесса, регрессии, корреляции), рассмотренных в следующих разделах.

12.3. Определение точности опыта

Статистическая ошибка позволяет судить о надежности полученных результатов, т.е. о том, достаточное ли количество случаев при данной величине изменчивости было получено, чтобы по части характеризовать целое. В практике биометрического анализа используется относительная ошибка измерений – "показатель точности опыта" или "показатель точности оценки параметров" – отношение ошибки средней к самой средней арифметической, выраженное в процентах:

$$\varepsilon = \frac{m}{\bar{X}} \cdot 100\% \quad (9)$$

Чем точнее определена средняя, тем меньше будет ε , и наоборот. Точность считается хорошей, если ε меньше 3%, и удовлетворительной при $3\% < \varepsilon < 5\%$. Если относительная ошибка превышает 5%, полученные данные следует уточнить (повторить опыт, собрать дополнительный материал и т. д.).

В разобранном выше примере определения характеристик массы куриного яйца показатель точности составил $\varepsilon = (0,8/66,6) \cdot 100 = 1,3\%$, что говорит о достаточной надежности выборочной оценки.

12.4. Оптимальный объем выборки

В исследованиях, при планировании экспериментов, для определения величины контрольных групп часто заранее требуется установить число наблюдений, достаточное для получения правильного представления о явлении в целом (получить репрезентативные оценки генеральной совокупности). Можно говорить о двух разных подходах для непрерывных и дискретных признаков.

Идея первого метода состоит в том, чтобы, используя известные соотношения (все формулы были представлены выше) между средней, стандартным отклонением, ошибкой средней, плотностью вероятности распределения Стьюдента (на их основе вычисляется коэффициент вариации, показатель точности оценок, доверительный интервал), найти число степеней свободы, соответствующее доверительному интервалу для средней при уровне значимости $\alpha=0.05$. Иными словами, решается задача, прямо противоположная рассмотренной в предыдущем разделе.

Объем выборки, достаточной для получения результата заданной точности, находят по формуле (9):

$$n = \left(\frac{T \cdot CV}{\varepsilon} \right)^2, \quad (9)$$

где n – объем выборки; T – граничное значение из таблицы распределения Стьюдента (Приложение), соответствующее принятому уровню значимости при планируемом объеме выборки (в крайнем случае можно взять значение $T=1,96$ для $df=\infty$), CV – приблизительное значение коэффициента вариации (%), ε – планируемая точность оценки (погрешности) (%).

Рассчитаем необходимый объем условной выборки, обеспечивающий хорошую точность $\varepsilon=3\%$, для уровня значимости $\alpha=0,05$ ($T=1,98$, для $df=100$ кг) и для коэффициента вариации $CV = 10\%$ (такова относительная изменчивость многих размерно-весовых признаков):

$$n = \left(\frac{1.98 \cdot 10}{3} \right)^2 = 43,56 \approx 44 \text{ шт.}$$

12.5. Асимметрия и эксцесс

В практике исследований нередки случаи, когда числовые значения признаков дают распределения, в той или иной мере отличающиеся от нормального. Иногда обнаруживается асимметричное, в других сериях – эксцессивное распределение (рисунок 3, 4). Для асимметричных вариационных кривых характерно появление "хвоста" – сдвиг частот от средних значений вправо или влево. В распределении эксцессивных признаков наблюдается чрезмерное накапливание или, наоборот, снижение частот в центральных классах вариационного ряда, вследствие этого вершина кривой распределения либо сильно поднимается и заостряется (положительный эксцесс, островершинность), либо, напротив, опускается, приобретая вид широкого плато (отрицательный эксцесс, туповершинность) или даже седловины между двумя боковыми вершинами. Для нормального распределения коэффициенты асимметрии и эксцесса равны нулю.

При расчете коэффициентов асимметрии (A) и эксцесса (E) используются следующие базовые формулы (10), (11):

$$A = \frac{1}{n} \cdot \frac{\sum (x - \bar{x})^3}{\sigma^3}, \quad (10)$$

$$E = \frac{1}{n} \cdot \frac{\sum (x - \bar{x})^4}{\sigma^4} - 3. \quad (11)$$

Более сложные формулы, дающие несмещенные оценки реализованы в среде Excel в виде функций: для оценки асимметрии =СКОС (диапазон) и для оценки эксцесса =ЭКССЕСС (диапазон). Диапазон ячеек должен содержать все значения изучаемой выборки.

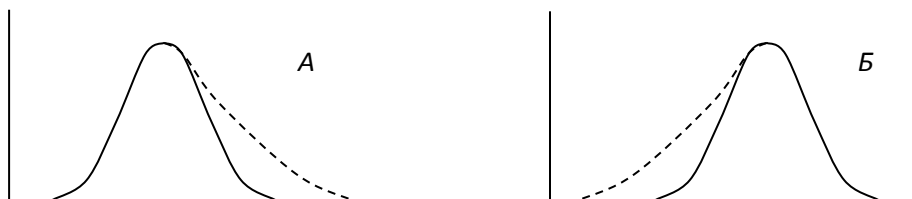


Рис. 3. Асимметрия распределения (обозначена пунктиром относительно нормальной кривой): А – положительная (правосторонняя), Б – отрицательная (левосторонняя)

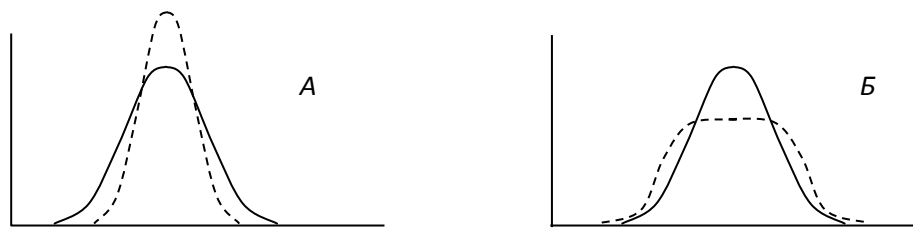


Рис. 4. Эксцесс распределения (обозначен пунктиром относительно нормальной кривой): А – положительный (островершинность), Б – отрицательный (туповершинность)

Показатели асимметрии и эксцесса используются в качестве тестов для проверки соответствия эмпирического распределения нормальному. Статистическая значимость этих показателей говорит о нарушении нормальной формы кривой распределения. Критерии Стьюдента для $df = \infty$ проверяют нулевую гипотезу Но: "коэффициент асимметрии (эксцесса) существенно от нуля не отличается, следовательно, асимметрия (эксцесс) достоверно не выражена":

$$T = \frac{A - 0}{m_A}, \quad (12)$$

$$T = \frac{E - 0}{m_E}, \quad (13)$$

где m – статистическая ошибка соответствующего коэффициента.

Точная и приближенная формулы для расчета статистической ошибки показателя асимметрии и эксцесса составляют:

$$m_A = \sqrt{\frac{6 \cdot n \cdot (n-1)}{(n-2) \cdot (n+1) \cdot (n+3)}} \approx \sqrt{\frac{6}{n}}, \quad (14)$$

$$m_E = \sqrt{\frac{24 \cdot n \cdot (n-1)^2}{(n-3) \cdot (n-2) \cdot (n+3) \cdot (n+5)}} \approx \sqrt{\frac{24}{n+5}} \approx 2 \cdot \sqrt{\frac{6}{n}}. \quad (15)$$

Проведем вычисление коэффициентов асимметрии и эксцесса для данных по куриным яйц:

$$A = \text{СКОС}(A1:A54) = -0,03819,$$

$$m_A = \text{КОРЕНЬ}(6 \cdot 54 \cdot (54-1) / ((54-2) \cdot (54+1) \cdot (54+3))) = 0,324556,$$

$$T_A = 0,11767,$$

$$E = \text{ЭКССЕСС}(A1:A54) = -0,22731,$$

$$m_E = \text{КОРЕНЬ}(24 \cdot 54 \cdot (54-1)^2 / ((54-3) \cdot (54-2) \cdot (54+3) \cdot (54+5))) = 0,638893,$$

$$T_E = 0,35579.$$

Табличное значение критерия Стьюдента составляет $T_{(0.05, \infty)} = 1,96$. Поскольку полученное значение $T_A = 0,12$ меньше табличного (1,96), коэффициент асимметрии значимо не отличается от нуля. Поскольку полученное значение $T_E = 0,36$ меньше табличного (1,96), коэффициент эксцесса значимо от нуля не отличается. Распределение в целом соответствует

нормальному.

Вычислить все рассмотренные параметры вариационного ряда можно в среде Excel с помощью макроса, который вызывается командой меню Данные (Сервис)/ Анализ данных/ Описательная статистика.

Например, обработка данных по массе куриных яиц дает следующие результаты (таблица 4):

Таблица 4

Результаты данных по массе яиц куриных

Среднее	66,60185
Стандартная ошибка	0,8404
Медиана	67
Мода	60,8
Стандартное отклонение	6,175652
Дисперсия выборки	38,13868
Эксцесс	-0,22731
Асимметричность	-0,03819
Интервал	29,5
Минимум	52,1
Максимум	81,6
Сумма	3596,5
Счет	54

13. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Анализ взаимосвязи между большим количеством переменных осуществляется путем использования методов статистической обработки.

Цель применения подобных методов – сделать наглядными скрытые закономерности, выделить наиболее существенные взаимосвязи между переменными.

При всем кажущемся многообразии вариантов проявления различного рода закономерностей, можно выделить всего 4 класса статистических задач вида "доказать отличия":

1. Доказать чужеродность варианты в выборке (или "классифицировать объекты").
2. Доказать отличие двух выборок.
3. Доказать отличие нескольких выборок (или "доказать влияние фактора на признак").
4. Найти зависимость между признаками (или "доказать сопряженность варьирования признаков").

Выбрать методы решения статистических задач позволит таблица 5.

Таблица 5

Определитель статистического метода

Что доказать?	Что изучено?	Метод
Чужеродность варианты в выборке	Величина	Сравнение средней и Варианты
Достоверность отличия двух выборок	Величина	Сравнение средних арифметических
	Изменчивость	Сравнение дисперсий
	Распределение частот	Сравнение эмпирического и теоретического распределений
		Сравнение двух эмпирических распределений
	В целом	Сравнение двух наборов значений
Достоверность отличия нескольких выборок	Величина	Дисперсионный анализ
	Изменчивость	Сравнение серии дисперсий
	Распределение частот	Сравнение нескольких эмпирических распределений
	В целом	Непараметрический дисперсионный анализ
Достоверность влияния фактора на признак	Величина	Дисперсионный анализ
Достоверность влияния признака на признак	Величина	Регрессионный анализ
Достоверность сопряженности варьирования двух признаков	Величина	Корреляционный анализ

13.1. Доказательство чужеродности варианты в выборке

Часто встречается ситуация, когда одна из полученных вариантов сильно отличается от остальных. Эти отклонения могли возникнуть в результате неточности измерений, ошибок внимания, методических погрешностей и т. д.

Можно ли такие резко выделяющиеся значения использовать при дальнейших расчетах?

Общепринятой безразмерной характеристикой отклонения отдельной варианты от средней арифметической служит *нормированное отклонение*, оно показывает, на сколько стандартных отклонений меняется та или иная варианта от среднего уровня варьирующего признака, и выражается формулой (12):

$$t = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \sim t_{табл.}, \quad (12)$$

где t – критерий выпада (исключения);

x – выделяющееся значение признака;

M – средняя величина для группы вариант;

$t_{табл.}$ – стандартные значения критерия выпадов, определяемые свойствами нормального распределения.

Если значение критерия больше табличного, то это означает, что данное значение не относится к анализируемой совокупности, а есть проявление каких-то особых закономерностей, ошибок и пр. и должно быть, поэтому исключено из рассмотрения (отброшено). При этом иногда рекомендуют значения параметров (M , S) рассчитывать без учета "подозрительной" варианты. После такой "чистки" параметры выборки должны быть рассчитаны заново.

Пример. В выборке куриных яиц одно яйцо имеет сильно превышающий остальные вес – 81,6 г. Значение признака за пределами доверительного интервала $\bar{x} \pm 1,96\sigma = 66,6 \pm 12,1$ для $P = 0,95$ (между 54,5 и 78,7 г). Критерий исключения $t = (81,6 - 66,6)/6,2 = 2,428594$. Табличное значение критерия t для $n=50$ и $\alpha=0,05$ составляет 2,03. Критерий выпада (2,43) превышает табличное значение (2,03), в итоге этот сомнительный результат должен быть отброшен. Однако для $n=50$ и $\alpha=0,01$ табличное значение критерия t равно 2,71. Следовательно, при более жестких требованиях к результатам анализа это значение укладывается в пределы одной генеральной совокупности с другими значениями выборки.

13.2. Доказательство отличия двух выборок

Задача сравнения выборочных средних – это вопрос о том, действовал ли в одной из выборок новый систематический фактор по сравнению с другой выборкой? В терминах статистики отличия между средними могут иметь два противоположных источника:

1. Обе выборки взяты из одной генеральной совокупности, но средние отличаются в силу ошибки репрезентативности.

2. Выборки взяты из разных генеральных совокупностей, отличие средних вызвано, в основном, действием разных доминирующих факторов (а также и случайно).

Статистическая задача состоит в том, чтобы сделать обоснованный выбор. Исходно предполагается (нулевая гипотеза - H_0): "достоверных отличий между средними нет".

Для исключения чужеродных ("выскакивающих") вариант (см. табл. 7 Приложения) мы применяли закон нормального распределения: в диапазоне четырех стандартных отклонений, $\bar{x} \pm 1,96\sigma$, отклонение вариант от средней происходит по случайным причинам; за границами этого диапазона лежат чужеродные для данной выборки значения. Поскольку выборочные средние имеют нормальное распределение (см. раздел Ошибка репрезентативности выборочных параметров), критерий отличия двух выборочных средних также базируется на свойствах *нормального распределения*: в границах $\bar{x}_{общ.} \pm 1,96 \cdot m$ (или приблизительно $\bar{x}_{общ.} \pm 2 \cdot m$) выборочные средние арифметические отличаются от общей (генеральной) средней по случайным причинам. Критерий отличия средних формируется по типу критерия "исключения", если одну из выборочных средних ($\bar{x}_1$) принять в качестве генеральной средней, другую взять как "подозрительную" варианту ($\bar{x}_2$), а роль характеристики варьирования играет обобщенная ошибка репрезентативности (m_d):

$$t = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \Rightarrow t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{m_d}. \quad (13)$$

Обобщенная ошибка получена объединением двух ошибок, рассчитанных по сравниваемым выборкам (для случая, когда выборочные дисперсии отличаются несильно):

$$m_d = \sqrt{m_1^2 + m_2^2}, \quad (14)$$

которые, в свою очередь, определены рассмотренным выше соотношением:

$$m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (15)$$

Тогда рабочая формула для T критерия отличия средних будет:

$$T = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}} \sim T_{(\alpha, df)}. \quad (16)$$

Следует помнить, что разность средних нужно брать по модулю, т.е. без учета знака. Полученное этим способом значение критерия T Стьюдента сравнивают с табличным при выбранном уровне значимости (обычно для $\alpha = 0,05$) и числе степеней свободы (объемы выборок без числа ограничений, $df = n_1 + n_2 - 2$). Результатом такого сравнения должен стать один из двух вариантов следующего статистического вывода. Если полученное значение (величина) критерия больше табличного, значит, различия между параметрами при заданном уровне значимости и установленном числе степеней свободы статистически значимы. Если же полученная величина критерия меньше табличной, то при данном уровне значимости и числе степеней свободы различия между параметрами статистически не значимы. Последнее говорит о том, что различия случайны, никакого определенного вывода сделать нельзя, нулевая гипотеза остается не опровергнутой.

Табличные значения критерия следует брать из таблицы Стьюдента (см. табл. 8 Приложения). Обычно эта статистика соответствует нормальному распределению, но в случае небольших выборок дает необходимую поправку на объем выборки, предупреждает возможность сделать слишком жесткий вывод по недостаточным данным. По этой причине критерий различия средних арифметических носит название критерия Стьюдента*. Одно из необходимых требований к применению этого критерия – это уверенность в том, что изучаемые признаки имеют распределение, в целом соответствующее нормальному.

Критерий Стьюдента был разработан английским химиком У. Госсетом, когда он работал на пивоваренном заводе Гиннеса и по условиям контракта не имел права открытой публикации своих исследований. Поэтому публикации своих статей по t -критерию У. Госсет сделал в 1908г. в журнале "Биометрика" под псевдонимом "Student", что в переводе означает "Студент". В отечественной же литературе принято писать "Стьюдент".

Расчеты можно провести в среде Excel с помощью макроса, который вызывается командой меню Данные (Сервис)/ Анализ данных/ Описательная статистика. Входной интервал задать по всему массиву данных (B3:E12). В параметрах вывода выставить флажок на Итоговая статистика и вывести результат на Новый рабочий лист.

Затем, удалив лишние столбцы с наименованиями параметров описательной статистики, скопировать и выставить результаты в соответствующие ячейки рабочего листа с массивом первичных данных. Ввести в ячейки (B29 и D29) формулу расчета критерия T , соответственно, для пар средних значений длины спагетти до и после варки.

Из результатов видно, что расчетный критерий сравнения продукции разных производителей до варки (0,827) меньше табличного значения критерия для $\alpha = 0,05$ и $df = n_1 + n_2 - 2 = 18$ (2,101). Следовательно, продукцию разных производителей можно отнести к одной генеральной совокупности – произведенной по единой технологии на аналогичном оборудовании. Однако оценка значимости различия средних значений длины спагетти после варки показывает, что расчетное значение критерия (6,091) превышает табличное значение. Таким образом, варенные спагетти можно отнести к разным генеральным совокупностям. Причиной этому может быть то, что продукция двух наименований произведена из муки разного качества.

Пример. Исследовали спагетти марок «Макфа» и «Смак»: измеряли длину спагетти до (1) и после (2) варки в одинаковом режиме. Вопрос – можно ли отнести изделия двух производителей к одной генеральной совокупности?

13.3. Доказательство отличия нескольких выборок (или "доказательство влияния фактора на признак")

Дисперсионный анализ (от латинского *dispersio* – рассеивание; разработан биологом Р.Фишером в 1925 году) – статистический метод, используемый для изучения одной или нескольких одновременно действующих и независимых переменных на изменчивость наблюдаемого признака. Его особенность состоит в том, что наблюдаемый признак может быть только количественным, в тоже время объясняющие признаки могут быть как количественными, так и качественными.

Целью дисперсионного анализа является проверка значимости различия между средними с помощью сравнения дисперсий. Дисперсию измеряемого признака разлагают на независимые слагаемые, каждое из которых характеризует влияние того или иного фактора или их взаимодействия. Последующее сравнение таких слагаемых позволяет оценить значимость каждого изучаемого фактора, а также их комбинации.

Дисперсионный анализ позволяет решать следующие задачи: измерение силы влияний; определение достоверности влияний; оценка генеральных параметров влияния в форме доверительных границ; оценка разности частных средних; функциональный (регрессионный) анализ ряда частных средних и т.д.

В зависимости от количества факторов, определяющих вариацию результативного признака, дисперсионный анализ подразделяют на *однофакторный* и *многофакторный*.

При проведении дисперсионного анализа изучаются три основных вида статистических влияний: факториальное, случайное и общее.

Факториальное влияние – это простое или комбинированное статистическое влияние изучаемых факторов.

Случайное влияние – это действие тех многих факторов, которые не организованы в изучаемом дисперсионном комплексе и составляют общий фон, на котором действуют организованные факторы.

Общее влияние – это влияние всех организованных и неорганизованных факторов, определивших такое развитие признака, которое наблюдалось в дисперсионном комплексе. Общее влияние служит базой для определения доли влияний – факториальных и случайных.

Дисперсионный анализ позволяет оценить достоверность отличия нескольких выборочных средних одновременной, т.е. изучить влияние одного контролируемого фактора на результативный признак путем оценки его относительной роли в общей изменчивости этого признака, вызванной влиянием всех факторов.

B29		fx		=(ABS(B14-D14)/КОРЕНЬ(B15*B15+D15*D15))			
	A	B	C	D	E	F	G
1		"Макфа"		"Смак"			
2		1	2	1	2		
3		24,8	29,5	24,9	25,5		
4		24,8	28,6	24,6	25,9		
5		25,2	30	25,3	25,9		
6		24,9	29,5	25,1	25,6		
7		24,4	28,5	24,8	25,7		
8		24,9	28,3	25,2	26		
9		25,2	28	25	25,8		
10		23,8	27,5	25,2	25,5		
11		25	25,9	25	27,5		
12		25,3	29,6	24,6	25,9		
13							
14	Среднее	24,83	28,54	24,97	25,93		
15	Стандартная ошибка	0,14067	0,38736	0,07753	0,18321		
16	Медиана	24,9	28,55	25	25,85		
17	Мода	24,8	29,5	24,6	25,9		
18	Стандартное отклонение	0,44485	1,22493	0,24518	0,57937		
19	Дисперсия выборки	0,19789	1,50044	0,06011	0,33567		
20	Эксцесс	2,60996	1,21935	-0,95159	7,59129		
21	Асимметричность	-1,51709	-1,02947	-0,41503	2,61448		
22	Интервал	1,5	4,1	0,7	2		
23	Минимум	23,8	25,9	24,6	25,5		
24	Максимум	25,3	30	25,3	27,5		
25	Сумма	248,3	285,4	249,7	259,3		
26	Счет	10	10	10	10		
27	CV	1,8	4,3	1,0	2,2		
28							
29	Т-критерий отличия средних	0,8721		6,091			
30							
31	Критерий Стьюдента (0,05; 18)	2,101					
32							

Задача дисперсионного анализа состоит в том, чтобы охарактеризовать силу и достоверность влияния фактора на признак, причем только на *величину* (средний уровень) признака, но не на его изменчивость. Дисперсионный анализ есть метод сравнения нескольких средних арифметических. В этом смысле он подобен методу сравнения двух средних арифметических с помощью критерия Стьюдента (Приложение, таблица №8).

В дисперсионном анализе использован такой же показатель достоверности влияния фактора, но адаптированный к случаю сравнения нескольких выборок (критерий Фишера) (Приложение таблица №10):

$$F = \sigma^2_{\text{факт.}} / \sigma^2_{\text{случ.}} \quad (17)$$

В качестве обобщенной *меры отличия нескольких выборочных средних* выступает дисперсия, рассеяние выборочных средних ($\bar{x}_j$) вокруг общей средней ($\bar{x}_{\text{общ.}}$):

$$\sigma^2_{\text{факт.}} = \sum_{j=1}^k (\bar{x}_j - \bar{x}_{\text{общ.}})^2 / df_{\text{факт.}}, \quad (18)$$

где $df_{\text{факт.}} = k-1$; $j = 1, 2, \dots, k$; k – число сравниваемых средних.

В качестве обобщенной *меры случайного варьирования* служит дисперсия вариант (x_i) вокруг средней в каждой градации ($\bar{x}_j$):

$$\sigma^2_{\text{случ.}} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 / df_{\text{случ.}}, \quad (19)$$

где $df_{случ.} = n - I; i = 1, 2, \dots, n; n$ – число вариант всех выборок.

Нулевая гипотеза гласит: "влияние фактора на признак отсутствует". Проверяют гипотезу по критерию Фишера (Приложение таблица №9):

$$F = \sigma^2_{факт.} / \sigma^2_{случ.} \geq F(\alpha, df_1, df_2), \quad (20)$$

где $df_1 = k - 1; df_2 = n - k; k$ – число градаций результативного признака; n – общий объем всех выборок по всем градациям.

Влияние считается достоверным, если величина расчетного критерия равна или превышает свое табличное значение с принятым уровнем значимости (обычно $\alpha = 0.05$).

Не вдаваясь в подробности техники расчетов, приведем пример выполнения однофакторного дисперсионного анализа в среде Excel.

Пример. Для выявления значимости влияния технологического режима производства (например, температуры при выпечке хлеба) сняты показатели качества производимой продукции (толщина корки) при четырех градациях температурного режима.

Введем подписанные метками (A1, A2...) данные в четыре столбца, отдельно для каждой градации.

	A	B	C	D
1	A1	A2	A3	A4
2	1	2	2	2
3	1	2	2	4
4	2	1	3	3
5	1	3	2	2
6	1	2	3	4

Вызовем программу обработки командой Данные (Сервис)/ Анализ данных/ Однофакторный дисперсионный анализ, ОК. Заполним окно макроса, ОК. На новом листе появятся результаты расчетов:

	A	B	C	D	E	F	G
1	Однофакторный дисперсионный анализ						
2							
3	ИТОГИ						
4	Группы	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
5	Столбец 1	5	6	1,2	0,2		
6	Столбец 2	5	10	2	0,5		
7	Столбец 3	5	12	2,4	0,3		
8	Столбец 4	5	15	3	1		
9							
10							
11	Дисперсионный анализ						
12	Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
13	Между группами	8,55	3	2,85	5,7	0,00750894	3,238871522
14	Внутри групп	8	16	0,5			
15							
16	Итого	16,55	19				
17							

Чтобы все надписи были видны, нужно изменить ширину столбцов. Это можно сделать, нажав на серый квадрат слева вверху листа (над 1, левее А), перевести курсор на границу между любыми столбцами (курсор примет форму креста со стрелками, направленными в стороны) и дважды кликнуть левой кнопкой мыши. Ширина каждого столбца будет автоматически определена по максимально длинному содержимому какой-либо ячейки этого столбца.

Поскольку полученное значение критерия ($F = 5,7$) больше табличного ($F_{(0.05,3,19)} = 3,1$), отличие факториальной и случайной дисперсий достоверно, влияние фактора значимо.

13.4. Нахождение зависимости между признаками (или "доказать сопряженность варьирования признаков")

Корреляционный анализ. Корреляция (термин ввел Ф. Гальтон в 1888г.; в переводе означает «соотношение» или «взаимосвязь») – есть наличие взаимной согласованности в изменчивости двух или нескольких признаков (явлений). Она оценивается с помощью значения коэффициента корреляции, который является мерой степени и величины этой связи.

Задача корреляционного анализа сводится к установлению направления и формы связи между признаками, измерению ее тесноты и к оценке достоверности выборочных показателей корреляции.

Корреляционная связь не является точной зависимостью одного признака от другого, поэтому она может иметь различную степень – от полной независимости до очень сильной связи. Кроме того, характер связи между разными признаками может быть различен. Поэтому возникла необходимость определять форму, направление и степень корреляционных связей.

По форме корреляционная связь между признаками может быть *линейной* и *криволинейной (нелинейной)*, а по направлению - *положительной* и *отрицательной*.

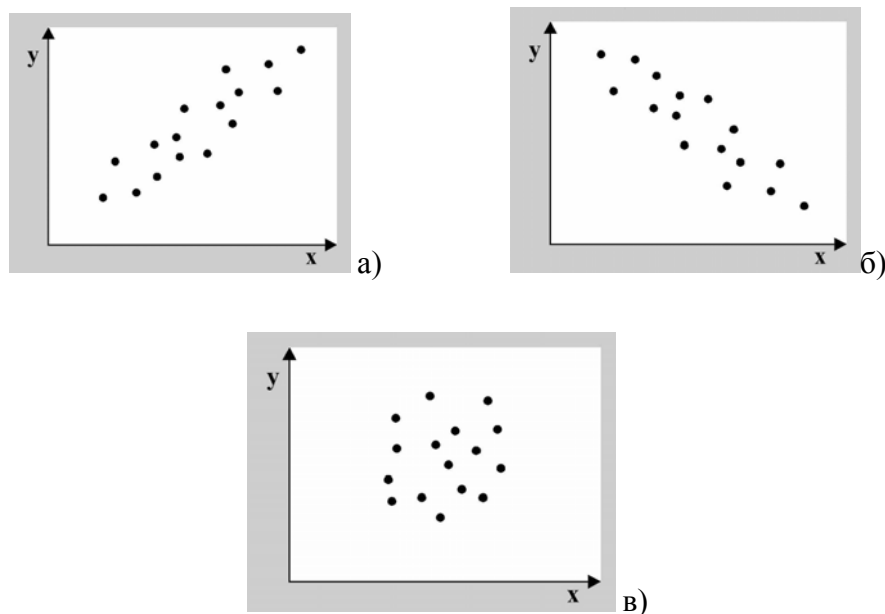
Положительная корреляция отражает однотипность в изменении признаков: с увеличением значений первого признака увеличиваются значения и другого, или с уменьшением первого уменьшается второй.

Отрицательная корреляция указывает на увеличение первого признака при уменьшении второго или уменьшение первого признака при увеличении второго.

Когда исследуется корреляция между количественными признаками, значения которых можно точно измерить в единицах метрических шкал, то очень часто принимается модель двумерной нормально распределенной генеральной совокупности. Такая модель отображает зависимость между переменными величинами x_i и y_i графически в виде геометрического места точек в системе прямоугольных координат. Эту графическую зависимость называют также *диаграммой рассеивания* или *корреляционным полем* (рисунок 5).

Данная модель двумерного нормального распределения (корреляционное поле) позволяет дать наглядную графическую интерпретацию коэффициента корреляции.

Таким образом, визуальный анализ корреляционного поля помогает выявить не только наличия статистической зависимости (линейную или нелинейную) между исследуемыми признаками, но и ее тесноту и форму. Это имеет существенное значение для следующего шага в анализе: выбора и вычисления соответствующего коэффициента корреляции.



а) прямая корреляция; б) обратная корреляция;
в) отсутствие корреляции

Рис. 5. Графическая интерпретация взаимосвязи между показателями

Коэффициент корреляции (r) — удобный показатель связи, получивший широкое применение в практике. К их основным свойствам необходимо отнести следующие:

1. Коэффициенты корреляции способны характеризовать только линейные связи, т.е. такие, которые выражаются уравнением линейной функции. При наличии нелинейной зависимости между варьирующими признаками следует использовать другие показатели связи.
2. Значения коэффициентов корреляции — это отвлеченные числа, лежащее в пределах от -1 до +1, т.е. $-1 < r < 1$.
3. При независимом варьировании признаков, когда связь между ними отсутствует, $r = 0$.
4. При положительной, или прямой, коэффициент корреляции приобретает положительный (+) знак и находится в пределах от 0 до +1, т.е. $0 < r < +1$.
5. При отрицательной, или обратной, коэффициент корреляции сопровождается отрицательным (–) знаком и находится в пределах от 0 до –1, т.е. $-1 < r < 0$.
6. Чем сильнее связь между признаками, тем ближе величина коэффициента корреляции к $|1|$. Если $r = \pm 1$, то корреляционная связь переходит в функциональную, т.е. каждому значению признака x будет соответствовать одно строго определенное значение признака y .
7. Только по величине коэффициентов корреляции нельзя судить о достоверности корреляционной связи между признаками. Этот параметр зависит от числа степеней свободы $k = n - 2$, где: n — число коррелируемых пар показателей x и y . Чем больше n , тем выше достоверность связи при одном и том же значении коэффициента корреляции.

В практической деятельности, когда число коррелируемых пар признаков x и y не велико ($n \leq 30$), то при оценке зависимости между показателями используется следующую градацию (Плохинский Н.А., 1970):

- 1) *высокая степень взаимосвязи* — значения коэффициента корреляции находится в пределах от 0,76 до 1,00;

2) *средняя степень взаимосвязи* – значения коэффициента корреляции находится в пределах от 0,51 до 0,75;

3) *слабая степень взаимосвязи* – значения коэффициента корреляции находится от 0,25 до 0,50.

В качестве оценки генерального коэффициента корреляции используется *коэффициент корреляции (r) Браве–Пирсона*. Для его определения принимается предположение о двумерном нормальном распределении генеральной совокупности, из которой получены экспериментальные данные. Это предположение может быть проверено с помощью соответствующих критериев значимости.

Коэффициент корреляции Браве-Пирсона ($r^{p_{xy}}$) относится к параметрическим коэффициентам и для практических расчетов вычисляется по формуле (21):

$$r_{xy}^p = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (21)$$

Вычислив это значение $r^{p_{xy}}$, необходимо определить достоверность найденного коэффициента корреляции, сравнив его фактическое значение с табличным для $k = n-2$ (табл. Коэффициент Стьюдента). Если $r_{\phi} \geq r_{st}$, то можно говорить о том, что между признаками наблюдается статистически значимая взаимосвязь. Если $r_{\phi} \leq r_{st}$, то между признаками корреляционная взаимосвязь статистически не значима.

Пример. Произведены измерения веса (г), длины (мм) и ширины (мм) куриных яиц. Вычислить попарные коэффициенты корреляции и оценить статистическую значимость взаимосвязей признаков.

Расчеты можно провести в среде Excel. Вызовем программу обработки командой Данные (Сервис)/ Анализ данных.../ Корреляция, ОК. Заполним окно макроса, выделив блок данных с метками и поставив галочку в поле "Метки в первой строке" и выходной интервал (E2), ОК. На листе появится результат:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	вес, г	длина, мм	ширина, мм			вес, г	длина, мм	ширина, мм
2	52,1	53	41		вес, г	1		
3	54,4	54	42		длина, мм	0.805760392	1	
4	56,3	54	44		ширина, мм	0.798316774	0.394548111	1
5	57,4	57	43					
6	58,4	57	43					
7	59,1	58	44					
8	60	60	42					
9	60,2	58	43					
10	60,5	59	42					
11	60,7	55	45					
12	60,8	59	43					
13	60,8	58	43					
14	61	58	43					
15	61,2	56	44					
16	61,3	58	45					
17	62,3	58	44					
18	63,7	57	45					
19	64	57	45					
20	64,8	61	43					
21	65,1	58	44					
22	65,4	59	44					
23	65,6	59	44					
24	65,8	59	45					
25	65,9	58	45					
26	66,2	59	45					
27	66,6	58	45					
28	66,8	59	45					
29	67,2	57	45					
30	67,3	62	44					

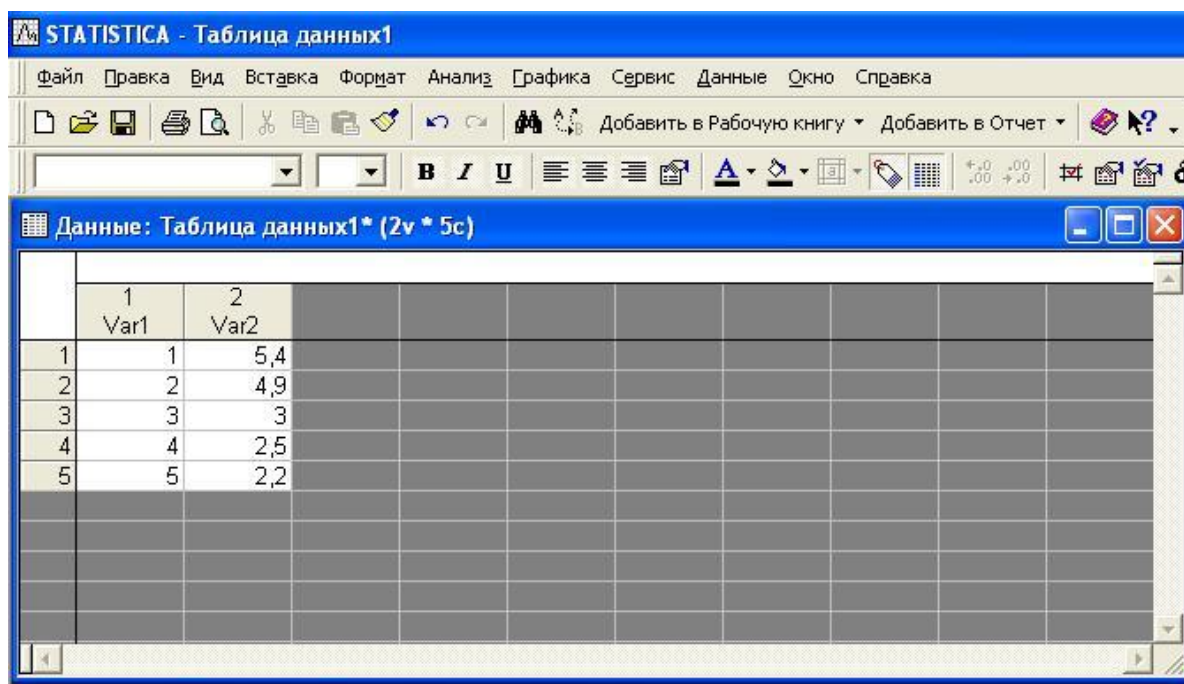
По таблице «Минимальные значения коэффициента корреляции r , достоверно отличные от нуля» (Приложение, таблица №11) для $df = 52$ и $\alpha = 0,05$ находим пороговое значение коэффициента корреляции (0,273). Все попарные связи исследованных параметров оказались статистически значимы.

Регрессионный анализ. Во многих естественных науках часто приходится статистически анализировать влияние одного фактора на другой. Подобные задачи возникают тогда, когда такие факторы не являются независимыми, но их функциональная зависимость неизвестна (или ее невозможно найти аналитически). Примерами могут служить зависимость между надоями молока и ее жирностью, содержанием сахара в являющихся сырьем для вина ягодах и крепостью произведенного вина, сроком хранения молока и ее кислотностью и т.п.

Вероятностный подход к решению подобных задач исходит из предположения, что система рассматриваемых величин обладает определенным *совместным распределением вероятностей*.

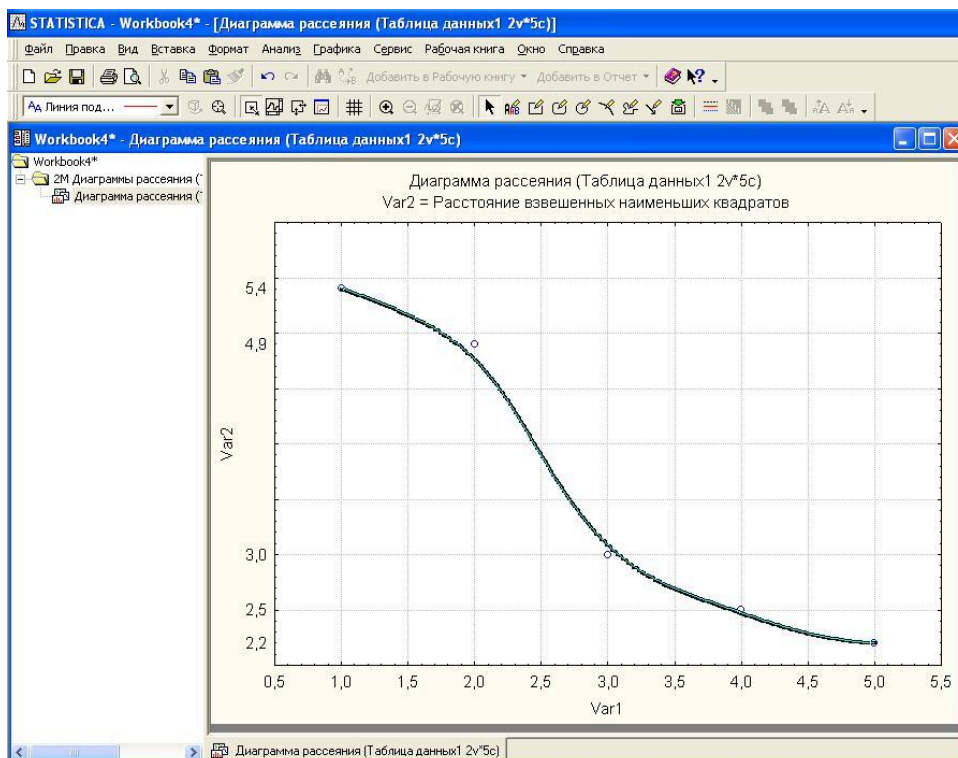
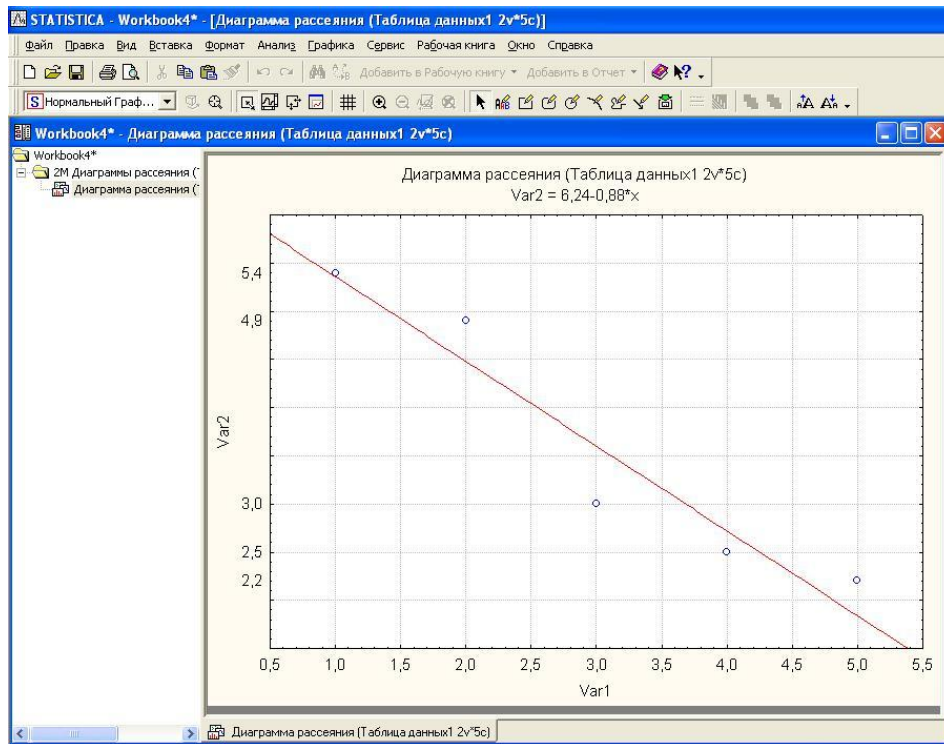
Не вдаваясь в подробности содержания алгоритмов расчета линий регрессии отметим, что выполнить этот вид анализа можно, например, в среде программы Statistica. Предварительно заполнив таблицу данных (или экспортировав ее из программы Excel) вызовем программу обработки данных командой Графика / Диаграммы рассеяния / Переменные. Определим переменные. Как правило, по оси абсцисс откладывают независимые переменные (например, градации технологического режима), а по оси ординат – зависимые переменные (например, показатели качества продукции). Далее – ОК / Дополнительно. Выбираем тип графика (Простой) и Подгонка (для начала Линейная). Далее – ОК. Для сложных форм зависимости переменных можно произвести Подгонку, щелкнув по линии регрессии правой кнопкой мыши и выбрав подходящую опцию для отображения криволинейной регрессии.

Пример. При разных градациях технологического режима (Var1) получены показатели качества продукции (Var2). Определить наличие и характер зависимости качества продукции от технологического режима ее производства.



	1 Var1	2 Var2							
1	1	5,4							
2	2	4,9							
3	3	3							
4	4	2,5							
5	5	2,2							

Регрессионный анализ, выполненный в программе Statistica по описанному выше алгоритму дал следующие результаты:



Вторая линия получена с помощью метода наименьших квадратов. Суть метода в следующем: сумма квадратов отклонений экспериментальных точек от сглаживающей кривой должна быть минимальной.

14. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ

Методы многомерного анализа. Теоретической основой для методов многомерной статистики служит понятие гиперпространства, или многомерного пространства. В отличие от привычного физического трехмерного пространства, имеющего три ортогональных (взаимно перпендикулярных) оси, многомерное пространство имеет множество осей координат, в качестве которых выступают признаки (переменные) изучаемых объектов. Отдельный объект, охарактеризованный по нескольким признакам, рассматривается как отдельная точка, а множество объектов – как облако точек. Если объекты отличаются друг от друга по разным признакам, то они будут занимать разное положение в многомерном пространстве; объекты оказываются рассеянными в нем.

Главной характеристикой объектов становится расстояние между ними в этом гиперпространстве, а главной особенностью всей выборки – форма облака рассеяния со своими пустотами и сгущениями объектов. Методы многомерной статистики изучают информацию, "закодированную" в порядке расположения объектов друг относительно друга.

Кластерный анализ позволяет выделить ведущий признак и иерархию взаимосвязей признаков. Слово кластер (cluster) с английского переводится как сгусток, пучок, группа (родственные понятия - класс, таксон, сгущение).

Кластерный анализ — это совокупность методов, позволяющих классифицировать многомерные наблюдения, каждое из которых описывается набором исходных переменных $X_1, X_2, \dots, X_m$.

Целью кластерного анализа является образование групп схожих между собой объектов, которые принято называть кластерами.

Например, если вы должны кластеризовать типы еды в кафе, то можете принять во внимание количество содержащихся в ней калорий, цену, субъективную оценку вкуса и т. д.

Пример. Классифицировать мясные консервы по показателям химического состава, приведенным в следующей таблице 6:

Таблица 6

Показатели химического состава мясных консервов

Консервы	Массовая доля, %				
	Вода	Белки	Жиры	Углеводы	Зола
Говядина тушеная	63,7	16,8	18,3	0	1,9
Баранина тушеная	61,2	17,3	19,8	0	1,7
Свинина тушеная	51,1	14,9	32,2	0	1,8
Гуляш говяжий	64,6	17,1	12,0	4,0	2,3
Паштет печеночный	52,5	11,1	31,5	2,7	2,2
Говядина отварная	56,6	24,5	16,6	0,0	2,3
Язык говяжий в желе	64,3	17,8	15,1	0,6	2,2
Паштет мясной	58,1	16,4	23,3	0,4	1,8
Каша гречневая с говядиной	60,8	9,2	15,4	12,0	2,3
“Крошка”	79,6	14,2	5,6	1,3	1,2
“Малыш”	74,1	13,0	9,0	2,6	1,3
“Язычок”	78,2	9,0	9,0	2,6	1,2

Последовательность действий при выполнении анализа в среде Statistica следующая: экспортировать матрицу данных в программу Statistica предварительно транспонировав ее через программу Excel:

STATISTICA - Таблица данных1

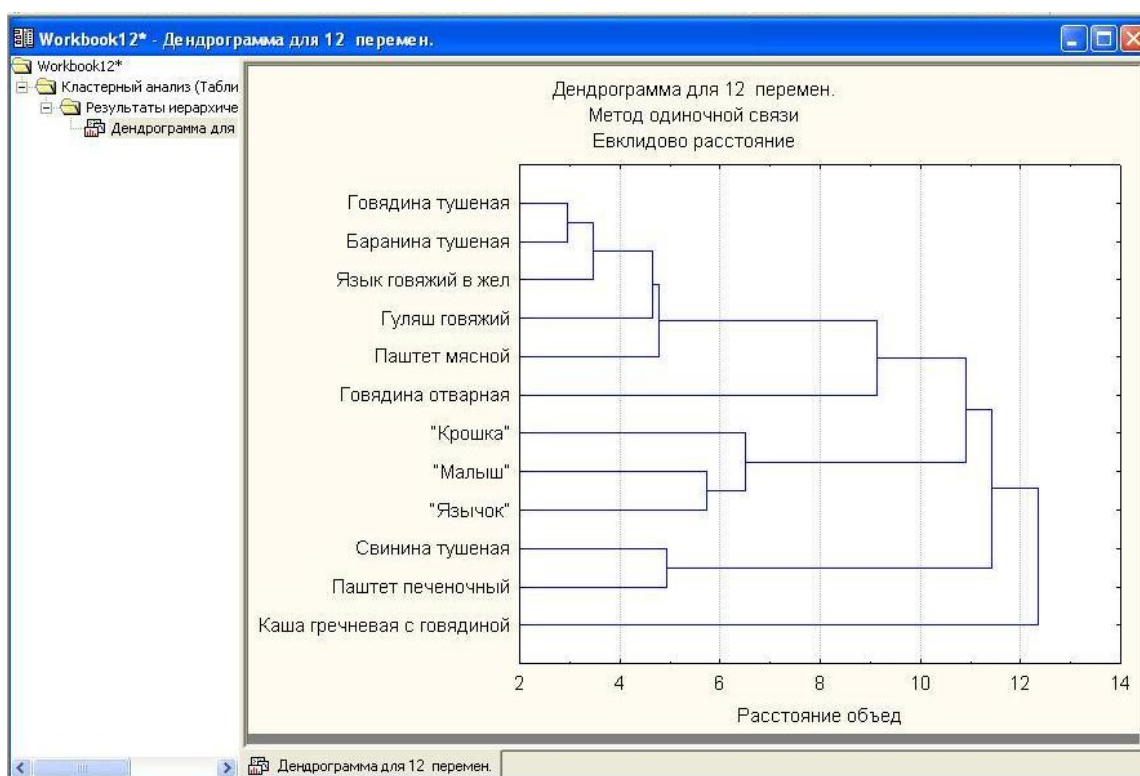
Файл Правка Вид Вставка Формат Анализ Графика Сервис Данные Окно Справка

Добавить в Рабочую книгу Добавить в Отчет

Данные: Таблица данных1* (12v * 5с)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	говядина тушеная	баранина тушеная	свинина тушеная	гуляш говяжий	паштет мясной	говядина отварная	язык говяжий	паштет печеночный	каша гречневая с говядиной	"Крошка"	"Малыш"	"Язычок"
1	63,7	61,2	51,1	64,6	52,5	56,6	64,3	58,1	60,8	79,6	74,1	78,2
2	16,8	17,3	14,9	17,1	11,1	24,5	17,8	16,4	9,2	14,2	13	9
3	18,3	19,8	32,2	12	31,5	16,6	15,1	23,3	15,4	5,6	9	9
4	0	0	0	4	2,7	0	0,6	0,4	12	1,3	2,6	2,6
5	1,9	1,7	1,8	2,3	2,2	2,3	2,2	1,8	2,3	1,2	1,3	1,2

Далее команды Анализ / Многомерный разведочный анализ / Кластерный анализ / Иерархическая классификация, ОК / Выбрать все, ОК / ОК.



Из дендрограммы видно, что консервы с близким составом образовали отдельные кластеры: консервы со сбалансированным содержанием белков и жиров и отсутствием (или низким содержанием) углеводов (говядина тушеная, баранина тушеная, язык говяжий в желе, гуляш говяжий и паштет мясной) – к ним примыкает отличающаяся высоким содержанием белка говядина отварная; углеводсодержащие консервы для детского питания («Крошка», «Малыш», «Язычок») с низким содержанием жира; консервы с высоким

содержанием жира (свинина тушеная и паштет печеночный и, наконец, отдельную группу составляет каша гречневая с говядиной с высоким содержанием углеводов.

Факторный анализ - многомерный статистический метод, применяемый для изучения взаимосвязей между значениями переменных. Факторный анализ позволяет решить две важные проблемы исследователя: описать объект измерения *всесторонне* и в то же время *компактно*. С помощью факторного анализа возможно выявление скрытых переменных факторов, отвечающих за наличие линейных статистических связей корреляций между наблюдаемыми переменными.

Например, анализируя оценки полученные по нескольким шкалам, исследователь замечает, что они сходны между собой и имеют высокий коэффициент корреляции, он может предположить, что существует некоторая латентная переменная, с помощью которой можно объяснить наблюдаемое сходство полученных оценок. Такую латентную переменную называют *фактором*. Данный фактор влияет на многочисленные показатели других переменных, что приводит нас к возможности и необходимости выделить его как наиболее общий, более высокого порядка.

Виды медоносных растений	лес	лес	лес	лес	лес	лес	лесная поляна	влажный луг	влажный луг	влажный луг
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Клевер горный	0,0	1,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	2,8
Клевер ползучий	2,3	0,2	0,4	0,0	0,0	0,0	23,6	0,0	0,2	0,0
Дягиль	3,8	2,8	0,0	2,3	2,4	10,6	2,1	2,8	4,9	15,1
Дудник лесной	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Василек ложнофригийский	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	17,0	5,9	9,4	0,0
Бутень прескотта	3,3	0,2	0,0	0,0	0,3	3,2	0,4	0,1	0,0	0,1
Чистотел большой	1,8	7,9	7,2	0,0	2,1	5,6	0,2	0,0	0,2	0,1
Таволга вязолистная	17,3	9,8	4,7	28,6	0,3	6,5	1,0	45,6	41,5	55,9
Таволга обыкновенная	3,8	1,8	0,0	1,3	0,1	0,3	0,2	0,5	0,0	0,0
Борщевик сибирский	0,5	0,0	0,6	1,0	39,2	1,8	0,2	1,0	0,0	3,3
Зверобой	0,0	0,0	0,0	1,6	0,6	5,3	0,2	0,0	0,0	0,0
Котовник венгерский	0,0	0,2	0,3	0,0	0,1	0,0	4,8	0,0	0,0	2,1
Душица	2,0	2,4	0,4	0,3	1,7	0,9	2,3	0,0	1,5	0,5
Кровохлебка	0,3	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	21,4	27,3	12,2	0,0
Морковник	4,6	0,4	0,0	0,6	0,7	2,1	0,6	0,4	0,0	0,0
Липа	42,4	41,7	39,0	54,7	42,0	27,7	10,1	4,8	13,5	5,7
Вероника широколистная	0,8	8,3	22,9	0,3	0,0	0,0	0,2	0,5	0,0	2,5

Для выявления наиболее значимых факторов и, как следствие, факторной структуры, наиболее оправданно применять метод главных компонент (англ. *Principal component analysis, PCA*). Суть данного метода состоит в замене коррелированных компонентов

некоррелированными факторами. Другой важной характеристикой метода является возможность ограничиться наиболее информативными главными компонентами и исключить остальные из анализа, что упрощает интерпретацию результатов. Достоинство метода главных компонент также в том, что он - единственный математически обоснованный метод факторного анализа.

Практическое выполнение факторного анализа начинается с проверки его условий. В обязательные условия факторного анализа входят:

1. Все признаки должны быть количественными.
2. Число признаков должно быть в два раза больше числа переменных.
3. Выборка должна быть однородна.
4. Исходные переменные должны быть распределены симметрично.
5. Факторный анализ осуществляется по коррелирующим переменным.

При анализе в один фактор объединяются сильно коррелирующие между собой переменные, как следствие происходит перераспределение дисперсии между компонентами и получается максимально простая и наглядная структура факторов. После объединения коррелированность компонент внутри каждого фактора между собой будет выше, чем их коррелированность с компонентами из других факторов. Эта процедура также позволяет выделить латентные переменные, что бывает особенно важно при анализе социальных представлений и ценностей.

15. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О СТАТИСТИЧЕСКИХ ТАБЛИЦАХ

Таблицы относятся к наиболее простому способу представления данных. Они состоят из колонок со значениями двух или более связанных переменных. С помощью этого метода трудно получить прямое и ясное указание на связь между переменными, но он часто является первым этапом регистрации информации и служит основой для выбора последующей формы графического представления данных.

Практикой выработаны следующие основные правила составления и оформления статистических таблиц:

1) Таблица должна быть по возможности небольшой по размерам (облегчается анализ данных). Целесообразно построить несколько небольших взаимосвязанных таблиц, чем одну большую.

2) Таблица должна иметь кратко, ясно и точно сформулированное название, заголовки строк подлежащего и граф сказуемого. В названии необходимо отразить объект изучения, территорию и период времени, к которым относятся приводимые данные.

3) Строки подлежащего и графы сказуемого обычно размещаются по принципу от частного к общему. Если приводятся не все слагаемые, то сначала показывают общие итоги, а затем выделяют наиболее важные их составные части («в том числе», «из них»).

4) Таблица должна обязательно содержать необходимые итоги (групповые, общие, проверочные), их отсутствие затрудняет анализ и даже обесценивает таблицу.

5) Строки в подлежащем и графы в сказуемом часто нумеруют порядковыми номерами. При этом в сказуемом нумеруются только графы, в которые вписываются цифры. Графы для обозначений подлежащего и единиц его измерения обычно обозначаются буквами («а», «б»... или «А», «Б»...).

6) При заполнении таблицы необходимо строго соблюдать следующие условные обозначения: если данное явление (событие) отсутствует, ставить знак « - » (тире), если отсутствуют сведения, ставится знак « ... » (многоточие) или пишут «нет сведений», если

сведения имеются, но числовое значение меньше принятой в таблице точности, то ставится « 0,0 ».

7) Округлённые числа приводятся в таблице с одинаковой степенью точности (до 0,1; до 0,01 и т.д.) для всей графы однородных показателей. Не следует округлять проценты до целых чисел (округление значений, близких к 100, исказит картину). Когда показатели в процентах выражены большими числами, целесообразно заменить их выражением «во столько—то раз больше или меньше»:

9) Если приводятся не только зафиксированные при наблюдении (первичные) данные, но и данные, полученные в результате расчетов, целесообразно об этом сделать оговорку в таблице или в примечании к ней.

10) Таблица может сопровождаться примечаниями, в которых указываются источники данных, более подробное содержание показателей и другие необходимые пояснения (например, методика расчёта).

16. ГРАФИЧЕСКИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ В СТАТИСТИКЕ

Полученный в результате статистического исследования материал нередко изображается с помощью точек, геометрических линий и фигур или географических картосхем, т.е. *графиков*.

Графики придают изложению статистических данных бóльшую наглядность, чем таблицы, выразительность, облегчают их восприятие и анализ. Статистический график позволяет зрительно оценить характер изучаемого явления, присущие ему закономерности, тенденции развития, взаимосвязи с другими показателями, географическое разрешение изучаемых явлений. Еще в древности китайцы говорили, что одно изображение заменяет тысячу слов. Графики делают статистический материал более понятным, доступным и неспециалистам, привлекают внимание широкой аудитории к статистическим данным, популяризируют статистику и статистическую информацию.

При любой возможности анализ статистических данных рекомендуется всегда начинать с их графического изображения. График позволяет сразу получить общее представление обо всей совокупности статистических показателей. Графический метод анализа выступает как логическое продолжение табличного метода и служит целям получения обобщающих статистических характеристик процессов, свойственных массовым явлениям.

При помощи графического изображения статистических данных решаются многие задачи статистического исследования:

- 1) наглядное представление величины показателей (явлений) в сравнении друг с другом;
- 2) характеристика структуры какого-либо явления;
- 3) изменение явления во времени;
- 4) ход выполнения плана;
- 5) зависимость изменения одного явления от изменения другого;
- 6) распространенность или размещение каких-либо величин по территории.

Другими словами, в статистических исследованиях применяются самые разнообразные графики.

В каждом графике выделяют (различают) следующие основные элементы:

А) *Пространственные ориентиры* задаются в виде системы координатных сеток. В статистических графиках чаще всего применяется система прямоугольных координат. Иногда используется принцип полярных (угловых) координат (круговые графики).

На осях системы координат в определенном порядке располагаются характеристики статистических признаков изображаемых явлений или процессов. По вертикальной оси (оси *y*) откладывают значения, называемые ординатами, которые показывают величину зависимой переменной, т.е. функции. Это «неизвестное количество», иными словами переменная, значения которой не выбираются экспериментатором. Горизонтальная ось *x* несет значения, называемые абсциссами, которые показывают величину независимой переменной. Это «известное количество», т.е. переменная, значения которой выбираются экспериментатором.

Признаки, располагаемые на осях координат, могут быть качественными или количественными.

Б) Графический образ статистических данных представляет собой совокупность линий, фигур, точек, образующих геометрические фигуры разной формы (окружность, квадраты, прямоугольники и т.п.) с различной штриховкой, окраской, густотой нанесения точек.

Любое явление, изучаемое статистикой, можно представить в графической форме. Для этого требуется найти правильное графическое решение, определить тот графический образ, который лучше всего соответствует данному явлению, нагляднее изображает статистические данные. Графический образ должен соответствовать цели графика. Поэтому перед построением графика необходимо уяснить сущность явления и цель, которая ставится перед графическим изображением. Выбранная форма графика должна соответствовать внутреннему содержанию и характеру статистического показателя. Например, сравнение на графике производится по таким измерениям, как площадь, длина одной из сторон фигур, местонахождением точек, их густотой и т.д.

Так, для изображения изменений явления во времени наиболее естественным типом графика является линия. Для рядов распределения – полигон или гистограмма.

В) Поле графика – это пространство, в котором располагаются графические образы (геометрические тела, образующие графики). Поле графика характеризуется по размерам и пропорциям. Размер поля зависит от назначения графика. Пропорции и размер графика (формат графика) должны соответствовать также сущности изображаемых явлений. Для статистических исследований часто используются графики с неравными сторонами, но иногда удобна квадратная форма графиков.

Г) Масштабные ориентиры, обеспечивающие геометрическому образу количественную определенность, – это использованная в графике система масштабных шкал. Масштабом графика называется условная мера перевода статистической числовой величины в графическую.

Масштабная шкала – это линия, отдельные точки которой могут быть в соответствии с принятым масштабом прочитаны как определенное значение статистического показателя. Масштаб выбирается с таким расчетом, чтобы на графике могла поместиться самая большая и самая маленькая из изображаемых величин при максимальном использовании поля графика.

Каждая ось должна начинаться с 0, но если все значения одной переменной расположены близко друг к другу, например, между 6,12 и 6,68 лежит десять точек, то, чтобы разместить эти точки, потребуется крупный масштаб. В этом случае ось также начинается с 0, но сразу после 0 на оси делается отметка о разрыве в виде знака *-//-*

Масштабные шкалы бывают равномерными и неравномерными, прямолинейными (обычно располагаются по осям координат) и криволинейными (круговые в секторных диаграммах).

Д) Экспликация графика – это словесное пояснение его содержания (название графика и соответствующие пояснения отдельных его частей).

Название графика должно точно и кратко раскрывать его содержание. Пояснительные тексты могут располагаться в пределах графического образа, рядом с ним или выноситься за

его пределы, вдоль масштабных шкал. Они помогают мысленно перейти от геометрических образов к явлениям и процессам, изображенным на графике.

Особенность графических изображений в их выразительности, доходчивости и обозримости. Однако графические изображения не только иллюстративны, они носят и аналитический характер.

Графические способы изображения могут быть сгруппированы по различным признакам: по форме графического образа, по типу шкалы, поля, задачам изображения и т.д.

По виду поля графика различают диаграммы и статистические карты.

По форме графического образа различают линейные, плоскостные, объемные, точечные, фоновые, изобразительные диаграммы и карты.

По типу шкалы: линейные равномерные (арифметические), линейные неравномерные (функциональные, логарифмические), криволинейные и др.

По задачам изображения можно выделить: графики статистического и динамического сравнения; графики структуры и структурных сдвигов или структурно-динамические; графики динамики или динамические; графики контроля выполнения плана; графики пространственного (территориального) размещения и пространственной распространенности; графики вариационных рядов; графики зависимости варьирующих признаков и взаимосвязи и др.

Каждый из основных видов графических изображений в статистической практике строится с учетом определенных правил. В статистических исследованиях для выяснения характерных черт и особенностей массовых явлений, познания типичного в этих явлениях и решения других задач широко используется сравнение одних абсолютных, средних и относительных статистических величин с другими.

Анализ – это, прежде всего сравнение и сопоставление статистических данных. Нередко возникает необходимость сопоставления результатов статистического исследования конкретного явления с величинами типичного (идеального) явления аналогичной природы. Поэтому наглядное представление (графическое изображение) сравнения статистических показателей относится к наиболее распространенным графикам в статистике. Для этих целей применяются *диаграммы*.

Диаграмма – это графическое изображение, наглядно показывающее соотношение между сравниваемыми величинами. Диаграмма представляет собой чертеж, на котором статистические данные условно изображаются геометрическими линиями, фигурами и телами различных размеров.

Различают следующие основные виды графиков (диаграмм) сравнения: круговые, столбиковые, полосовые, квадратные, фигурные.

Круговые диаграммы (разновидность структурной диаграммы) - при их помощи достигается наглядное представление структуры совокупности или изображения состава целого, разделенного на части (рисунок 6).

Используются для отображения соотношения составляющих единство частей, например, структуру успеваемости в группе (доля студентов, сдавших экзамен на отлично, хорошо и удовлетворительно) или содержания веществ в продукте.

Столбиковые диаграммы - являются наиболее простым и наглядным графиком для сравнения величин статистических показателей (рисунок 7, 8).

При построении столбиковых диаграмм необходимо начертить систему прямоугольных координат. Основания столбиков одинакового размера размещаются на оси абсцисс, а вершина столбика будет соответствовать величине показателя, нанесенного в соответствующем масштабе на ось ординат. Каждый отдельный столбик соответствует отдельному объекту (показателю). Общее число столбиков равно числу сравниваемых величин. Расстояние между столбиками берется одинаковое, а иногда столбики

располагаются вплотную друг к другу. Вертикальная шкала всегда начинается с нуля и охватывает весь диапазон изображаемых данных. Для целей наглядности допускается разрыв по шкале данных (обычно начальных). С помощью столбиковых диаграмм легко изобразить также структуру или процесс развития явления во времени.

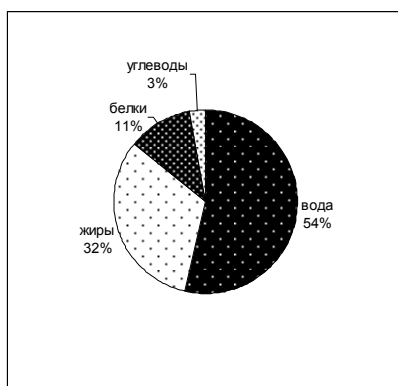


Рис. 6. Массовая доля (%) веществ в мясных консервах «Паштет печеночный»

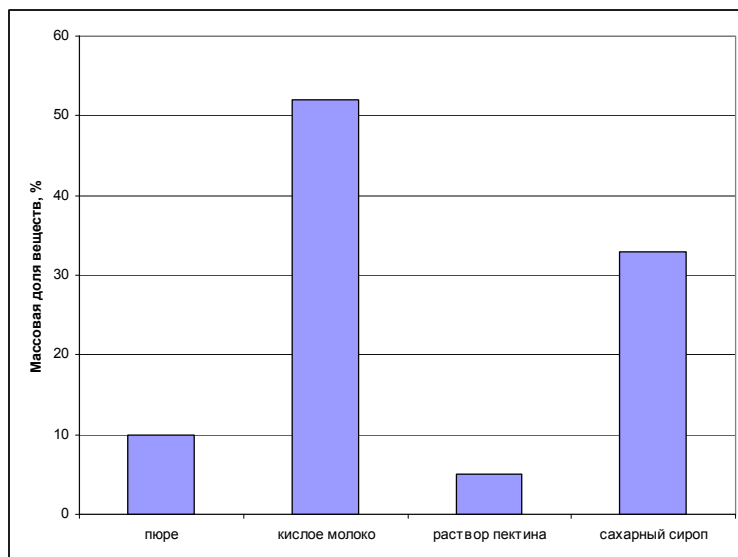


Рис. 7. Массовая доля (%) веществ в молочном напитке «Черносмородиново-молочный»

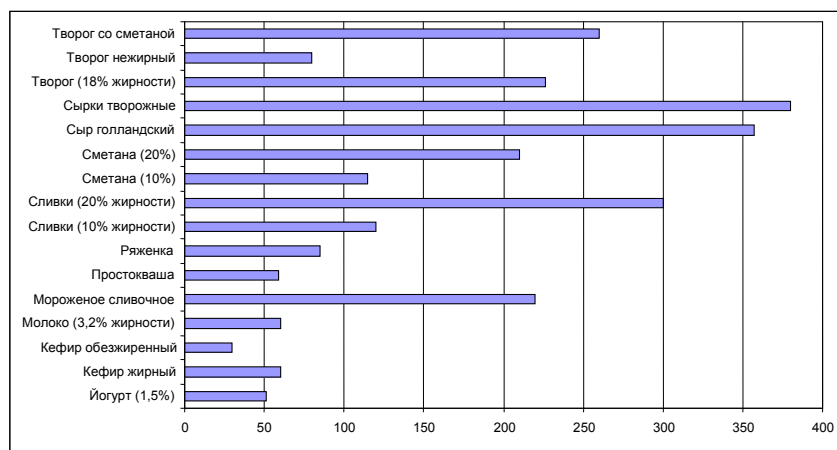


Рис. 8. Содержание энергии в 100 г молочных продуктов, кал.

Полосовые диаграммы – обычно используются для отображения отношения между непрерывной зависимой переменной (например, содержанием энергии) и нечисловой независимой переменной (например, различными видами пищи). В этом случае столбики размещаются не по вертикали, а по горизонтали, т.е. основание полос (объекты, данные) располагаются на оси ординат, а масштаб – на оси абсцисс.

Ширина полос также (как столбцов в столбиковой диаграмме) должна быть одинаковой. Расстояние между ними берется одинаковым или полосы строятся вплотную. Шкала горизонтальной полосовой диаграммы должна начинаться также с нуля, ее разрыв обычно не допускается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В нашем быстроменяющемся мире некоторые знания, приобретенные студентами во время получения специальности в университете, достаточно быстро могут утратить свою актуальность. При этом молодым дипломированным специалистам необходимо уметь в кратчайшие сроки и с максимальной эффективностью уметь преодолевать трудности, неизбежно возникающие в производственном процессе. В этой связи особое значение приобретает способность вчерашних выпускников ВУЗа проводить поиск и анализ научной информации, а при необходимости уметь поставить эксперимент – грамотно подготовить план исследования, рационально подобрать средства и методы экспериментального исследования. Кроме того, часть выпускников остается в аспирантуре и докторантуре, где знания о методах и средствах научных исследований являются залогом успешного обучения и дальнейшей научной деятельности.

В связи с вышеизложенным, назначение данного пособия – помочь будущему специалисту овладеть необходимой базой знаний по методам научных исследований с целью эффективной и быстрой адаптации к работе на производственном предприятии, а также для успешного осуществления научной деятельности.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Методика, метод, методология. Понятие «методология науки».
2. Формулировка цели научного исследования.
3. Основные методы научного познания.
4. Дайте определение понятию «эксперимент». Классификация эксперимента.
5. Каково значение эксперимента как метода научных исследований?
6. Виды измерений.
7. Перечислите основные методы измерений.
8. Определите понятие «средства измерений». На какие основные группы они подразделяются?
9. Перечислите основные типы физических величин, встречающихся в эксперименте.
10. Что такое погрешность? Какие существуют типы погрешностей измерений?
11. Какими основными свойствами характеризуются измерительные приборы?
12. Методы обработки данных
13. Какие ученые работали над развитием математической статистики?
14. Что считают генеральной совокупностью?
15. Как строится корреляционный ряд?
16. Какие средние величины применяют в обработке данных, полученных при исследованиях? Дайте им характеристику.
17. Охарактеризуйте закон нормального распределения.
18. Каковы свойства нормального распределения?
19. Как выбирается оптимальное число групп?
20. В чем заключается сущность средней арифметической, среднего квадратичного отклонения и дисперсии?
21. Что такое доверительный интервал?
22. Что называют ошибкой репрезентативности параметра?
23. Как определяют точность опыта?
24. Каким образом подбирают оптимальный объем выборки?
25. Что такое асимметрия и эксцесс?
26. Каковы четыре класса статистических задач? Дайте им характеристику.
27. Каковы свойства коэффициента корреляции?
28. Сущность регрессионного анализа.
29. В чем особенность кластерного и факторного анализа?
30. Каковы основные правила составления и оформления статистических таблиц?
31. Каковы основные правила составления и оформления графиков?
32. Основные элементы графиков.
33. Что такое диаграмма? Опишите основные виды диаграмм.
34. Роль современных информационных технологий в проведении научных исследований.
35. Типы научных исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волкова, П.А. Статистическая обработка данных в учебно-исследовательских работах. [Текст] / П.А. Волкова, А.Б. Шипунов - М.: Экспресс, 2008. - 60 с.
2. Зинченко, А.П. Практикум по статистике. [Текст] / Зинченко А.П., Шибалкин А.Е., Тарасова О.Б. и др. – М.: КолосС, 2007. – 413 с.
3. Зинченко, А.П. Практикум по статистике [Текст] / А.П. Зинченко, А.Е. Шибалкин, О.Б. Тарасова и др.; Под ред. А.П. Зинченко. - 2-е изд перераб и доп. - М, КолосС, 2007. - 413 с, ил. - (Учебники и учебные пособия для студентов высш. учеб. заведений) ISBN 978-5-9532-0478-1
4. Горелова, Г.В. Теория вероятностей и математическая статистика в примерах и задачах с применением Excel. [Текст] / Г.В. Горелова – М.: Феникс, 2005. – 476 с.
5. Яворский, В.А. Планирование научного эксперимента и обработка экспериментальных данных [Текст] : Методические указания к лабораторным работам. /В.А. Яворский – Москва: МФТИ, 2006. – 45 с.
6. Ханин, В.П. Исследование физико-механических свойств пищевых продуктов [Текст]: методические указания по курсу физико- механические свойства пищевых продуктов / В.П. Ханин, В.П. Попов, С.В. Антимонов, М.Ю. Шрейдер / - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. – 40 с.
7. Грин, Н. Биология. [Текст] : Т.1. Грин Н., Стаут У., Тейлор Д.– М.: Мир, 1990. – 368 с.
8. Ивантер, Э.В. Введение в количественную биологию [Текст]: учебное пособие. / Ивантер Э.В., Коросов А.В. – Петрозаводск: ПетрГУ. – 2003. – 304 с.
9. Лакин, Г.Ф. Биометрия. [Текст] / Г.Ф. Лакин - М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
10. Орлов, А.И. Математика случая: Вероятность и статистика – основные факты: [Текст] / Учебное пособие. / А.И. Орлов – М.: МЗ-Пресс, 2004. – 110 с.
11. Плохинский, Н.А. Биометрия. [Текст] / Н.А. Плохинский – М.: Моск. ун-т. – 1970. – 367 с.
12. Ростова, Н.С. Корреляции: структура и изменчивость. [Текст] / Н.С. Ростова – СПб.: С.-Петер. ун-т, 2002. – 308 с.
13. Шмидт, В.М. Математические методы в ботанике. [Текст] : Учеб. пособие./ В.М. Шмидт - Л. : Ленин. ун-т. – 1984.- 288 с.
14. Кохановский, В.П. Философия и методология науки [Текст] : Учебник для высших учебных заведений. / В.П. Кохановский – Ростов н/Д.: “Феникс”, 1999.
15. Сидоренко, Е.В. Методы математической обработки в психологии. [Текст] / Е.В. Сидоренко – СПб.: ООО «Речь», 2000. – 350 с.
16. Агапьев, Б.Д. Обработка экспериментальных данных [Текст] : Учеб. пособие / Агапьев Б.Д., Белов В.Н., Кесаманлы Ф.П., Козловский В.В., Марков С.И. - СПбГТУ. СПб., 2001.
17. Теория вероятностей и математическая статистика. Базовый курс с примерами и задачами. [Текст] – М.: Физматлит, 2002. – 223 с.
18. Килов, А.С. Основы научных исследований. Ч.2 Планирование эксперимента и расчет математической модели [Текст] : методические указания к практическому занятию. / А.С. Килов – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2002. – 14 с.
19. Дубров, А.М. Многомерные статистические методы для экономистов и менеджеров. [Текст] : Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И. - М., 2000. – 258 с.
20. Сабитов, Р.А. Основы научных исследований [Текст] : Учеб. пособие / Р.А. Сабитов. - Челяб. гос. ун-т. -Челябинск, 2002. - 138 с.

21. Быков, В.П. Моделирование информационных систем [Текст] : Конспекты лекций / В.П. Быков. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2002. – 42 с.: ил.
22. Орлов А.И. Прикладная статистика. [Текст] : Учебник. / А.И.Орлов.- М.: Издательство «Экзамен», 2004. - 656 с.

Таблица 7

Значение критерия t для отбраковки "выскакивающих" вариант

n	α			n	α		
	0.05	0.01	0.001		0.05	0.01	0.001
5	3.04	5.04	9.43	20	2.15	2.93	3.98
6	2.78	4.36	7.41	25	2.11	2.85	3.82
7	2.62	3.96	6.37	30	2.08	2.80	3.72
8	2.51	3.71	5.73	35	2.06	2.77	3.65
9	2.43	3.54	5.31	40	2.05	2.74	3.60
10	2.37	3.41	5.01	45	2.04	2.72	3.57
11	2.33	3.31	4.79	50	2.03	2.71	3.53
12	2.29	3.23	4.62	60	2.02	2.68	3.49
13	2.26	3.17	4.48	70	2.01	2.67	3.46
14	2.24	3.12	4.37	80	2.00	2.66	3.44
15	2.22	3.08	4.28	90	2.00	2.65	3.42
16	2.20	3.04	4.20	100	1.99	2.64	3.41
17	2.18	3.01	4.13	0	1.96	2.58	3.29
18	2.17	2.98	4.07				

Таблица 8

Значения критерия Стьюдента

Число степеней свободы, df	Доверительная вероятность (P) Уровень значимости (α)		
	$P=0.095$ $\alpha=0.05$	$P=0.099$ $\alpha=0.01$	$P=0.0999$ $\alpha=0.001$
2	4.303	9.925	31.598
3	3.182	5.841	12.941
4	2.776	4.604	8.610
5	2.571	4.032	6.859
6	2.447	3.707	5.959
7	2.365	3.499	5.405
8	2.306	3.355	5.041
9	2.262	3.250	4.781
10	2.228	3.169	4.587
11	2.201	3.106	4.437
12	2.179	3.055	4.318
13	2.160	3.012	4.221
14	2.145	2.977	4.140
15	2.131	2.947	4.073
16	2.120	2.921	4.015
17	2.110	2.898	3.965
18	2.101	2.878	3.922
19	2.093	2.861	3.883
20	2.086	2.845	3.850
22	2.074	2.819	3.792
25	2.060	2.787	3.725
30	2.042	2.750	3.646
35	2.030	2.724	3.591
40	2.021	2.704	3.551
45	2.014	2.690	3.520
50	2.008	2.678	3.496
55	2.004	2.669	3.476
60	2.000	2.660	3.460
70	1.994	2.648	3.435
80	1.989	2.638	3.416
90	1.986	2.631	3.402
100	1.982	2.625	3.390
120	1.980	2.617	3.373
>120	1.960	2.5758	3.2905

Таблица 9

Значения критерия Фишера F при уровне значимости $\alpha=0,05$

(число степеней свободы указано для дисперсии знаменателя – в строке, для дисперсии числителя – в столбце)

$df_1 \backslash df_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	∞
1	161.0	200.0	216.0	225.0	230.0	234.0	237.0	239.0	241.0	242.0	244.0	246.0	248.0	250.0	254.0
2	18.5	19.0	19.2	19.3	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.4
3	10.1	9.6	9.3	9.1	9.0	8.9	8.9	8.9	8.8	8.8	8.7	8.7	8.7	8.6	8.5
4	7.7	6.9	6.6	6.4	6.3	6.2	6.1	6.0	6.0	5.9	5.9	5.9	5.8	5.8	5.6
5	6.6	5.8	5.4	5.2	5.1	5.0	4.9	4.8	4.8	4.7	4.7	4.6	4.6	4.5	4.4
6	6.0	5.1	4.7	4.5	4.4	4.3	4.2	4.2	4.1	4.1	4.0	4.0	3.9	3.8	3.7
7	5.6	4.7	4.4	4.1	4.0	3.9	3.8	3.7	3.7	3.6	3.6	3.5	3.4	3.4	3.2
8	5.3	4.5	4.1	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.4	3.3	3.3	3.2	3.2	3.1	3.0
9	5.1	4.3	3.9	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1	3.1	3.0	2.9	2.9	2.7
10	5.0	4.1	3.7	3.5	3.3	3.2	3.1	3.1	3.0	3.0	2.9	2.9	2.8	2.7	2.5
11	4.8	4.0	3.6	3.4	3.2	3.1	3.0	3.0	2.9	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6	2.4
12	4.7	3.9	3.5	3.3	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.6	2.5	2.5	2.3
13	4.7	3.8	3.4	3.2	3.0	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.2
14	4.6	3.7	3.3	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.3	2.1
15	4.5	3.7	3.3	3.1	2.9	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1
16	4.5	3.6	3.2	3.0	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.0
17	4.4	3.6	3.2	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
18	4.4	3.5	3.2	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	1.9
19	4.4	3.5	3.1	2.9	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	1.9
20	4.3	3.5	3.1	2.9	2.7	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.0	1.8
21	4.3	3.5	3.1	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	1.8
22	4.3	3.4	3.0	2.8	2.7	2.5	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1.8
23	4.3	3.4	3.0	2.8	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8
24	4.3	3.4	3.0	2.8	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	1.9	1.7
26	4.2	3.4	3.0	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9	1.7
28	4.2	3.3	2.9	2.7	2.6	2.4	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.6
30	4.2	3.3	2.9	2.7	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6
40	4.1	3.2	2.8	2.6	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.5
60	4.0	3.1	2.8	2.5	2.4	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.4
120	3.9	3.1	2.7	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.2
∞	3.8	3.0	2.6	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.0

Таблица 10

Значения критерия Фишера F при уровне значимости $\alpha=0.01$
 (число степеней свободы указано для дисперсии знаменателя – в строке,
 для дисперсии числителя – в столбце)

$df_1 \backslash df_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	∞
1	4052	4999	5403	5625	5764	5859	5928	5982	6022	6056	6106	6157	6209	6261	6366
2	98.5	99.0	99.2	99.2	99.3	99.3	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.5	99.5
3	31.4	30.8	29.5	28.7	28.4	27.9	27.7	27.5	27.3	27.2	27.0	26.9	26.7	26.5	26.1
4	21.2	18.0	16.7	16.0	15.5	15.2	15.0	14.8	14.7	14.5	14.4	14.2	14.0	13.8	13.5
5	16.3	13.3	12.1	11.4	11.0	10.7	10.5	10.3	10.2	10.0	10.0	9.7	9.5	9.4	9.0
6	13.7	10.9	9.8	9.1	8.7	8.5	8.3	8.1	8.0	7.9	7.7	7.6	7.4	7.2	6.9
7	12.3	9.5	8.5	7.8	7.5	7.2	7.0	6.8	6.7	6.6	6.5	6.3	6.2	6.0	5.6
8	11.3	8.7	7.6	7.0	6.6	6.4	6.2	6.0	5.9	5.8	5.7	5.5	5.4	5.2	4.9
9	10.6	8.0	7.0	6.4	6.1	5.8	5.6	5.5	5.3	5.3	5.1	5.0	4.8	4.6	4.3
10	10.0	7.6	6.5	6.0	5.6	5.4	5.2	5.1	4.9	4.8	4.7	4.6	4.4	4.2	3.9
11	9.7	7.2	6.2	5.7	5.3	5.1	4.9	4.7	4.6	4.5	4.4	4.2	4.1	3.9	3.6
12	9.3	6.9	5.9	5.4	5.1	4.8	4.6	4.5	4.4	4.3	4.2	4.0	3.9	3.7	3.4
13	9.1	6.7	5.7	5.2	4.9	4.6	4.4	4.3	4.2	4.1	4.0	3.8	3.7	3.5	3.2
14	8.9	6.5	5.6	5.0	4.7	4.5	4.3	4.1	4.0	3.9	3.8	3.7	3.5	3.3	3.0
15	8.7	6.4	5.4	4.9	4.6	4.3	4.1	4.0	3.9	3.8	3.7	3.5	3.4	3.2	2.9
16	8.5	6.2	5.3	4.8	4.4	4.2	4.0	3.9	3.8	3.7	3.5	3.4	3.3	3.1	2.7
17	8.4	6.1	5.2	4.7	4.3	4.1	3.9	3.8	3.7	3.6	3.5	3.3	3.2	3.0	2.6
18	8.3	6.0	5.1	4.6	4.2	4.0	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.2	3.1	2.9	2.6
19	8.2	5.9	5.0	4.5	4.2	3.9	3.8	3.6	3.5	3.4	3.3	3.1	3.0	2.8	2.5
20	8.1	5.8	4.9	4.4	4.1	3.9	3.7	3.6	3.5	3.4	3.2	3.1	2.9	2.8	2.4
21	8.0	5.8	4.9	4.4	4.0	3.8	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	3.0	2.9	2.7	2.4
22	7.9	5.7	4.8	4.3	4.0	3.8	3.6	3.4	3.3	3.3	3.1	3.0	2.8	2.7	2.3
23	7.9	5.7	4.8	4.3	3.9	3.7	3.5	3.4	3.3	3.2	3.1	2.9	2.7	2.6	2.3
24	7.8	5.6	4.7	4.2	3.9	3.7	3.5	3.4	3.3	3.2	3.0	2.9	2.7	2.6	2.2
26	7.7	5.5	4.6	4.1	3.8	3.6	3.4	3.3	3.2	3.1	3.0	2.8	2.7	2.5	2.1
28	7.6	5.4	4.6	4.1	3.7	3.5	3.4	3.2	3.1	3.0	2.9	2.7	2.6	2.4	2.1
30	7.6	5.4	4.5	4.0	3.7	3.5	3.3	3.2	3.1	3.0	2.8	2.7	2.5	2.4	2.0
40	7.3	5.2	4.3	3.8	3.5	3.3	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.5	2.4	2.2	1.8
60	7.1	5.0	4.1	3.6	3.3	3.1	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.3	2.2	2.0	1.6
120	6.8	4.8	3.9	3.5	3.2	3.0	2.8	2.7	2.6	2.5	2.3	2.2	2.0	1.9	1.4
∞	6.6	4.6	3.8	3.3	3.0	2.8	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.5	1.9	1.7	1.0

Таблица 11

Минимальные значения коэффициента корреляции r ,
достоверно отличные от нуля ($df = n-2$)

α			α			α		
df	0.05	0.01	df	0.05	0.01	df	0.05	0.01
1	0.997	1	16	0.468	0.59	40	0.304	0.393
2	0.95	0.99	17	0.456	0.575	45	0.288	0.372
3	0.878	0.959	18	0.444	0.561	50	0.273	0.354
4	0.811	0.917	19	0.433	0.549	60	0.25	0.325
5	0.754	0.874	20	0.423	0.537	70	0.232	0.302
6	0.707	0.834	21	0.413	0.526	80	0.217	0.283
7	0.666	0.798	22	0.404	0.515	90	0.205	0.267
8	0.632	0.765	23	0.396	0.505	100	0.195	0.254
9	0.602	0.735	24	0.388	0.496	125	0.174	0.228
10	0.576	0.708	25	0.381	0.487	150	0.159	0.208
11	0.553	0.684	26	0.374	0.478	200	0.138	0.181
12	0.532	0.661	27	0.367	0.47	300	0.113	0.148
13	0.514	0.641	28	0.361	0.463	400	0.098	0.128
14	0.497	0.623	30	0.349	0.449	500	0.088	0.115
15	0.482	0.606	35	0.325	0.418	1000	0.062	0.081

Учебное текстовое электронное издание

**Барышникова Надежда Ивановна
Вайскрובה Евгения Сергеевна
Ишбирдин Айрат Римович
Ишмуратова Майя Мунировна**

МЕТОДЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Учебное пособие

1,27 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2015 год

ФГБОУ ВПО «МГТУ»

Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

Кафедра стандартизации, сертификации и технологии продуктов питания

Центр электронных образовательных ресурсов и

дистанционных образовательных технологий

e-mail: ceor_dot@mail.ru