

Б. Б. Мойзес, И. В. Плотникова, Л. А. Редько

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ СПО

2-е издание

Рекомендовано Учебно-методическим отделом среднего профессионального образования в качестве учебного пособия для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования

**Книга доступна в электронной библиотеке biblio-online.ru,
а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»**

Москва ■ Юрайт ■ 2019

УДК 519.242(075.32)
ББК 22.172.в6я723
М74

Авторы:

Мойзес Борис Борисович — кандидат технических наук, доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества Института неразрушающего контроля Томского политехнического университета;

Плотникова Инна Васильевна — доцент, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества Института неразрушающего контроля Томского политехнического университета;

Редько Людмила Анатольевна — кандидат технических наук, доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества Института неразрушающего контроля Томского политехнического университета.

Рецензенты:

Чухланцева М. М. — кандидат технических наук, директор Государственного регионального центра стандартизации, метрологии и испытаний в Томской области;

Чайковская О. Н. — доктор физико-математических наук, профессор Томского государственного университета.

Мойзес, Б. Б.

М74

Статистические методы контроля качества и обработка экспериментальных данных : учебное пособие для среднего профессионального образования / Б. Б. Мойзес, И. В. Плотникова, Л. А. Редько. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2019 ; Томск : Томский политехнический университет. — 118 с. — (Профессиональное образование). — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-534-12574-0 (Издательство Юрайт)

ISBN 978-5-4387-0700-4 (Томский политехнический университет)

В пособии представлены главные темы для рассмотрения студентами очной формы обучения: виды измерений и их погрешности, методы обработки экспериментальных данных. Основное внимание уделено вопросам построения и использования вероятностных и статистических моделей контроля качества, планированию эксперимента, рассмотрена интерполяция и аппроксимация функций.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования и профессиональным требованиям.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению «Приборостроение».

УДК 519.242(075.32)

ББК 22.172.в6я723



Delphi Law Company

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

ISBN 978-5-534-12574-0
(Издательство Юрайт)
ISBN 978-5-4387-0700-4 (Томский
политехнический университет)

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2016
© Мойзес Б. Б., Плотникова И. В.,
Редько Л. А., 2016
© ООО «Издательство Юрайт», 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
1. НАУЧНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	7
1.1. Теоретические методы	7
1.2. Эмпирические методы.....	8
1.3. Эксперимент как предмет исследования	9
2. ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН	11
2.1. Виды измерений.....	11
2.2. Погрешности измерений	14
2.3. Типы физических величин	16
3. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТИ	17
3.1. Основные понятия и определения.....	17
3.1.1. Случайная величина	17
3.1.2. Испытания и события	18
3.1.3. Генеральная совокупность и выборка	19
3.1.4. Абсолютная и относительная частота. Вероятность.....	19
3.2. Функция распределения и плотность вероятности	20
3.3. Числовые характеристики случайных величин	23
3.4. Законы распределения случайной величины	24
3.4.1. Законы распределения дискретной случайной величины	25
3.4.1.1. Биномиальное распределение	25
3.4.1.2. Закон распределения Пуассона.....	26
3.4.1.3. Гипергеометрическое распределение	28
3.4.2. Законы распределения непрерывной случайной величины	29
3.4.2.1. Равномерный закон распределения	29
3.4.2.2. Нормальный закон распределения	30
3.4.2.3. Логарифмически-нормальное распределение	33
3.4.2.4. Показательный закон распределения	34
3.4.2.5. Распределение Вейбулла–Гнеденко	35
4. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ	37
4.1. Определение закона распределения случайной величины	38
4.2. Определение функции отклика	44
4.2.1. Корреляционный анализ	45
4.2.2. Регрессионный анализ.....	48
4.2.2.1. Метод наименьших квадратов	49
4.2.2.2. Парная линейная регрессионная модель	51
4.2.2.3. Параболическая регрессионная модель	52
4.2.2.4. Регрессия в виде показательной функции	54
4.2.2.5. Регрессия в виде степенной функции	55
4.2.3. Проверка математической модели на адекватность.....	56

4.3. Планирование эксперимента	58
4.3.1. Полный факторный эксперимент	58
4.3.1.1. Матрица планирования	59
4.3.1.2. Кодирование переменных	60
4.3.1.3. Свойства матрицы планирования	62
4.3.1.4. Расчет коэффициентов регрессии	62
4.3.2. Дробный факторный эксперимент	63
5. ИНТЕРПОЛЯЦИЯ И АППРОКСИМАЦИЯ ФУНКЦИИ	67
5.1. Интерполяция	67
5.1.1. Канонический полином	68
5.1.2. Линейная интерполяция	68
5.1.3. Интерполяционный полином Лагранжа	70
5.1.4. Интерполяционный полином Ньютона	72
5.1.4.1. Первая интерполяционная формула Ньютона	72
5.1.4.2. Вторая интерполяционная формула Ньютона	74
5.2. Аппроксимация функций	76
6. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА	78
6.1. Понятие и методы статистического контроля	78
6.2. Система нормативных документов, регламентирующих применение статистических методов	81
6.3. Семь простых методов контроля качества	83
6.4. Последовательность применения методов	95
6.5. Цикл PDCA и семь инструментов качества	96
6.6. Мышление в формате АЗ	99
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Значения функции Лапласа	103
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Критические значения критерия Пирсона (χ^2-критерий)	105
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Критические значения коэффициента Кохрена (G-критерия)	107
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Критические значения коэффициента Стьюдента (t-критерия)	109
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Значения критерия Фишера (F-критерия)	111
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	116

ПРЕДИСЛОВИЕ

Разложим название курса «Математические методы обработки экспериментальных данных» на «составляющие».

Метод — совокупность приемов или операций практического или теоретического освоения действительности, подчиненных решению конкретной задачи. Другими словами, метод — систематизированная совокупность действий, которые необходимо предпринять, чтобы решить поставленную задачу. В качестве метода могут выступать система операций при работе на определенном оборудовании, приемы научного исследования и т. д. [1]

Математические методы — совокупность методов количественного и качественного изучения и анализа состояния и (или) поведения объектов и систем, относящихся к различным отраслям науки, техники и технологий.

Научное исследование (научное познание) — один из видов познавательной деятельности, направленный на получение объективного, истинного знания, отражающего закономерности действительности. Задачи научного познания: описание, объяснение и предсказание процессов и явлений действительности.

Эксперимент (опыт) — один из методов научного исследования некоторого явления действительности в контролируемых и управляемых условиях [1, 5].

Данные — сведения о состоянии любого объекта: человека, фирмы, машины, прибора и т. д. [2], таким образом, экспериментальные данные — данные, полученные в результате эксперимента.

Обработка данных — процесс приведения данных к виду, удобному для использования. Любая система обработки данных выполняет три основные группы операций [2]:

- сбор данных;
- собственно их обработку;
- получение выходных данных.

Таким образом, под математическими методами обработки экспериментальных данных можно понимать совокупность приемов количественного и качественного изучения объектов посредством приведения сведений о его состоянии (поведении), полученных в контролируемых и управляемых условиях, к виду, удобному для использования.

В результате проведения экспериментов полученные данные требуют всевозможных обработок. При этом существует много методов и технологий обработки экспериментальных данных, выбор которых зависит от того результата, к которому стремится исследователь.

В процессе изучения данного материала студенты должны освоить:

трудовые действия

- владение техникой обработки данных с применением современного программного пакета;

необходимые умения

- эффективно применять знания курса на практике для решения фундаментальных и прикладных научных задач в области проведения экспериментов;

необходимые знания

- особенностей проведения экспериментов и структуры получаемых в них данных;
- методов теории вероятности и математической статистики, применяемых к наиболее типичным экспериментальным задачам;
- способов проверки статистической значимости результатов экспериментов;
- методов кинематического анализа;
- методов фитирования полученных в эксперименте зависимостей произвольными функциями, способов оценки параметров этих функций;
- методов наименьших квадратов и максимального правдоподобия.

ВВЕДЕНИЕ

Познавательная деятельность, как сознательная деятельность индивидуума, направленная на приобретение сведений об объекте, кроме научного познания включает следующие виды познания [3, 4]:

— обыденно-практическое, основанное на опыте, который человек приобретает, осуществляя какую-либо деятельность. Результатом выступают привычки, убеждения, верования, знание языка, обычаев и т. д.;

— мифическое — познание мира через мифы, предания, совершение обрядов, ритуалов, мифическое мировосприятие: природа — арена усилий, действие борющихся сил; схватка этих сил проявляется в природных явлениях и т. д.;

— религиозное, в котором истиной является Бог, а способ раскрытия истины — откровение. Цель практического религиозного познания — внутреннее преобразование человека, открывающее ему доступ к истине, Богу, вере;

— философское. В философии, как и в науке, используется строгий язык понятий. Однако истина философского познания имеет этическую составляющую. Философия не ограничивается только решением познавательных задач. Одна из главнейших функций философии — духовное преобразование человека;

— художественное, носителем которого является искусство. Существующая реальность находит отражение в художественных образах. Язык художественных образов выступает и как средство общения, и как творческая игра смыслов.

Только применение целого ряда методов позволяет всесторонне изучить исследуемую проблему, все ее аспекты и параметры.

1. НАУЧНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научные методы подразделяют на теоретические и эмпирические.

1.1. Теоретические методы

Индукция – метод исследования, в котором осуществляется переход от частного знания к более общему.

Индукция дает только вероятные заключения, нуждающиеся в дальнейшей проверке.

Примером умозаключения на основе применения метода индукции может стать рассуждение о формах государственного правления стран.

Аргентина – республика, Бразилия – республика, Венесуэла – республика, Эквадор – республика. Аргентина, Бразилия, Венесуэла, Эквадор – латиноамериканские государства. Все латиноамериканские государства являются республиками.

Италия – республика, Португалия – республика, Финляндия – республика, Франция – республика. Италия, Португалия, Финляндия, Франция – западноевропейские страны. Все западноевропейские страны являются республиками.

Посылки первого и второго индуктивного умозаключения истинны, т. к. все латиноамериканские государства – республики, а среди западноевропейских стран имеются монархии, например Англия, Бельгия и Испания [6].

Дедукция – метод исследования, в котором осуществляется переход от общего к частному.

Отличительная особенность дедуктивного умозаключения в том, что оно от истинных посылок всегда ведет к истинному заключению.

Примером дедукции может стать следующее умозаключение.

Все люди смертны. Все греки – люди. Следовательно, все греки – смертны [6].

Анализ – метод познания при помощи расчленения целостного предмета исследования на составляющие части.

Синтез – соединение отдельных сторон предмета в единое целое.

Абстрагирование – это мысленное отвлечение от несущественных свойств, связей, отношений предметов и выделение нескольких сторон, интересующих исследователя.

Конкретизация – наполнение какого-либо предмета частными признаками.

Обобщение – определение общего понятия, в котором находит отражение главное, основное, характеризующее объекты данного класса.

Аналогия – метод, посредством которого достигается знание о предметах и явлениях на основании того, что они имеют сходство с другими.

Сравнение – это установление различия между объектами материального мира или нахождение в них общего; осуществляется как при помощи органов чувств, так и при помощи специальных устройств.

Моделирование – создание и изучение заместителя (модели) объекта (например, компьютерное моделирование генома человека).

Формализация – отображение объекта или явления в знаковой форме какого-либо искусственного языка (математики, химии и т. д.).

Идеализация – это мысленное конструирование объектов, которые практически неосуществимы.

1.2. Эмпирические методы

Наблюдение – метод изучения объекта, находящегося в своих естественных условиях, без какого-либо вмешательства в него. Наблюдение осуществляется органами чувств, при помощи приборов, установок или автоматизированных систем наблюдения [6].

Практически любое исследование начинается с наблюдения для сбора предварительной информации.

Научное наблюдение в отличие от повседневного характеризуется:

- целенаправленностью – наблюдение ведется для решения поставленной задачи;
- планомерностью – наблюдение проводится строго по плану согласно задаче исследования;
- активностью – исследователь активно ведет поиск, направленный на выделение нужных моментов в наблюдаемом явлении [7].

Сравнение – познавательный метод, выявляющий сходство/различие объектов, ступеней развития одного и того же объекта.

Описание – метод, состоящий в фиксировании данных при помощи определенных систем обозначений, принятых в науке. Описание производится как путем обычного языка, так и специальными средствами, составляющими язык науки (символы, знаки, матрицы, графики и т. д.).

Измерение – совокупность действий, выполняемых при помощи определенных средств с целью нахождения числового значения измеряемой величины. Измерение – это наблюдение, дополненное процедурами измерения и статистической обработки результатов измерения [6].

При многообразии исследовательских методов основным источником получения информации об исследуемом объекте является эксперимент, а обработка экспериментальных данных осуществляется методами теории вероятности и математической статистики.

1.3. Эксперимент как предмет исследования

Особенности эксперимента [6, 8]:

- дает возможность активно участвовать исследователю, который:
 - сам вызывает изучаемое явление, а не ждет его появления;
 - может активно влиять на исследуемый процесс – менять условия его протекания, исключая отдельные его условия;
- воспроизводимость – условия эксперимента и проводимые при этом наблюдения (измерения) могут быть повторены требуемое для получения достоверных результатов количество раз;
- позволяет изучать объект в условиях, близких к идеальным, а также к экстремальным. Последнее позволяет выявить скрытые свойства объектов и глубже постичь их сущность.

Эксперимент условно можно разделить на несколько этапов [9]:

- подготовка проведения эксперимента;
- проведение эксперимента;
- подведение итогов эксперимента.

Подготовка проведения эксперимента включает в себя:

- постановку цели и задач;
- построение плана эксперимента;
- подбор методики проведения эксперимента;
- изучение начального состояния всей системы;
- выбор способов контроля протекания эксперимента, форм фиксации результатов, способов их обработки.

Проведение эксперимента включает в себя воздействие на объект и фиксацию результатов.

Подведение итогов заключается в описании эмпирических результатов и сравнении их с теоретическими выкладками.

В зависимости от способа получения данных об объекте (процессе, явлении) эксперименты можно разделить на пассивный и активный.

Пассивный эксперимент заключается в получении данных в режиме нормальной эксплуатации объекта.

Достоинство пассивного эксперимента заключается в отсутствии затрат на подготовку и проведение эксперимента.

Основной недостаток пассивного эксперимента заключается в том, что в нормальных условиях эксплуатации объекта различия в его состоянии невелики, и экспериментальные точки близки друг к другу. В этих условиях на точность описания сильное влияние могут оказать случайные погрешности. Для устранения этого влияния необходимо иметь достаточно большое количество экспериментальных данных.

Активный эксперимент проводится при целенаправленном изменении *факторов* (входных параметров объекта) – переменных, оказывающих влияние на результаты эксперимента. При наличии связи фиксируемой физической величины от изменения факторов физическая величина получила название отклика, а функция зависимости отклика от факторов – *функции отклика*.

Основное достоинство активного эксперимента – бóльшая точность получаемых данных, основной недостаток – затраты на проведение эксперимента.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что активный эксперимент за счет целенаправленного изменения входных параметров позволяет получать необходимый объем информации при существенно меньшем числе опытов, чем при пассивном эксперименте.

2. ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

2.1. Виды измерений

Измерение – нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств [10].

Классифицировать измерения можно следующим образом:

- по видам измеряемых физических величин: линейные, оптические, электрические и др.;
- характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения: статические и динамические;
- количеству измерений одной и той же величины: однократные и многократные;
- способу получения результатов: прямые и косвенные;
- степени однородности: совокупные и совместные;
- условиям измерений: равноточные и неравноточные;
- характеру результата: абсолютные и относительные;
- точности: технические и метрологические;
- степени воздействия на объект: контактные и бесконтактные;
- методу измерений: метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой и т. д.

Статические измерения – измерения, при которых измеряемая величина остается постоянной во времени, например, измерение габаритных размеров объекта.

Под *динамическими измерениями* понимают измерения, в процессе которых измеряемая величина является непостоянной во времени, например, измерение амплитуды колебаний работающего технологического оборудования.

Однократные измерения – измерения, выполненные один раз.

Многократные измерения выполняют одними и теми же приборами при повторении эксперимента при одних и тех же условиях.

При *прямых измерениях* искомое значение величины определяют непосредственно по устройству отображения измерительной информации применяемого средства измерений.

Прямое измерение можно условно выразить формулой

$$Y = X,$$

где X – значение, непосредственно получаемое из опыта; Y – искомое значение измеряемой величины.

Примером прямых измерений могут стать измерение массы весами, температуры – термометром и т. д.

Косвенные измерения – измерения, при которых искомое значение требуемой физической величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

При косвенных измерениях числовое значение измеряемой величины находят путем вычисления по формуле

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n),$$

где X_n – значение, полученное прямым измерением (непосредственно из эксперимента); Y – искомое значение физической величины.

К косвенным измерениям можно отнести нахождение площади геометрической фигуры, например прямоугольника, по ранее проведенным прямым измерениям его сторон.

При *совокупных измерениях* осуществляется многократное измерение одной величины или измерение нескольких одноименных величин. Примером может стать нахождение значения массы отдельных гирь набора по известному значению массы одной из гирь и по результатам измерений (сравнений) масс различных сочетаний гирь.

Совместные измерения подразумевают измерение нескольких неоднородных величин для нахождения функциональной зависимости между ними, например зависимости габаритных размеров объекта от температуры.

Примером косвенного измерения является измерение сопротивления R по результатам измерений тока I и напряжения U

$$R = \frac{U}{I}.$$

Равноточными измерениями называют измерения физической величины, выполненные одинаковыми приборами в одних и тех же условиях.

Измерения, выполненные различными приборами и (или) при разных условиях, будут *неравноточными*.

При измерениях для отображения результатов используются разные оценочные шкалы, градуированные либо в единицах измеряемой физической величины, либо в различных относительных единицах, включая и безразмерные. В соответствии с этим принято различать *абсолютные* и *относительные* измерения.

Примерами абсолютных измерений являются: определение длины в метрах, массы в килограммах. Примером относительных измерений является измерение относительной влажности воздуха [11]:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100 \%,$$

где ρ – абсолютная влажность, под которой понимается величина, численно равная массе водяного пара, содержащегося в 1 м^3 воздуха (т. е. плотность водяного пара в воздухе при данных условиях); ρ_0 – плотность насыщенного пара при данной температуре (максимально возможное количество водяного пара при данной температуре в 1 м^3 воздуха).

Технические измерения – это измерения, выполняемые обычными (не эталонными) техническими средствами измерений. Их выполняют с заранее установленной точностью, при которой погрешность измерений не должна превышать заранее установленного значения.

Метрологические измерения – это измерения, выполняемые с использованием эталонов. Их выполняют с максимально достижимой точностью, добиваясь минимальной погрешности измерения.

Метод непосредственной оценки – метод, при котором значение измеряемой физической величины определяется непосредственно по отсчетному устройству прибора прямого действия.

При *методе сравнения с мерой* прибор сравнивает измеряемую величину с аналогичной известной величиной, воспроизводимой мерой. Примерами используемых мер являются гири, концевые меры длины или угла и т. д. Данный метод реализуется как:

- дифференциальный метод;
- нулевой метод;
- метод совпадений;
- метод замещения;
- метод противопоставления.

Дифференциальный метод измерений – метод, в котором на измерительный прибор воздействует разность измеряемой величины и известной величины, воспроизводимой мерой.

Примером дифференциального метода является поверка мер длины сравнением с эталонными мерами на компараторе (приборе, предназначенном для сравнения мер) [12]. При этом производится неполное уравновешивание измеряемой величины X величиной X_m , воспроизводимой мерой, и определение их разности ΔX . Результатом измерений станет выражение

$$X = X_m + \Delta X.$$

Нулевой метод – метод, в котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля.

Примером нулевого метода является взвешивание массы на весах с помощью набора гирь.

Метод совпадений – метод, в котором значение измеряемой величины оценивают, используя совпадение ее с величиной, воспроизводимой мерой (т. е. с фиксированной отметкой на шкале физической величины).

Примером данного метода является измерение длины при помощи штангенциркуля с нониусом.

В зависимости от одновременности или неодновременности воздействия на прибор сравнения измеряемой величины и величины, воспроизводимой мерой, различают методы замещения и противопоставления.

Метод замещения – метод, в котором измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой, т. е. эти величины воздействуют на прибор последовательно.

Метод противопоставления – метод, в котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения, с помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами.

2.2. Погрешности измерений

Погрешность измерения (ошибка измерения) – отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины [10]:

- вследствие неточности измерительных приборов,
- при многократном повторении одного и того же измерения физической величины и т. д.

Различают погрешности:

- по форме представления:
 - абсолютные;
 - относительные;
 - систематические;
- характеру проявления:
 - случайные;
 - систематические;
 - грубые промахи.

Абсолютная погрешность измерения определяется как разность между истинным и измеренным значениями физической величины

$$x_0 - x = \Delta x, \quad (1)$$

где x_0 – истинное (действительное) значение измеряемой величины; x – результат измерения.

Абсолютная погрешность может быть как положительной, так и отрицательной.

Относительная погрешность – отношение абсолютной погрешности к истинному значению или к результату измерения, выраженное в процентах:

$$\delta = \pm \frac{\Delta x}{x} \cdot 100 \%, \text{ или } \delta = \pm \frac{\Delta x}{x_0} \cdot 100 \%. \quad (2)$$

Приведенная погрешность – отношение абсолютной погрешности к нормированному значению x_n , выраженное в процентах.

В качестве нормированного значения может быть взято, например, максимальное значение x_{\max} измеряемой величины $x_n = x_{\max}$.

Систематические погрешности – погрешности, сохраняющие величину и знак при повторении эксперимента в условиях равноточных измерений из-за различных факторов, таких как:

- несовершенство измерительной аппаратуры и метода измерений;
- неточная настройка измерительной аппаратуры;
- непостоянство условий эксперимента, включая влияние окружающей среды;
- ошибки экспериментатора и т. д.

Систематические погрешности могут быть выявлены при тарировке приборов, и потому они могут быть учтены при обработке результатов измерений.

Случайные погрешности – это погрешности, изменяющие свою величину или знак при повторении эксперимента в условиях равноточных измерений из-за суммарного эффекта действия таких факторов, как вибрация внешних источников, изменение окружающей среды и т. д.

Их невозможно учесть как систематические, но можно учесть их влияние на оценку истинного значения измеряемой величины. Анализ случайных погрешностей можно провести средствами теории вероятности и математической статистики.

Промахи или *грубые погрешности* – ошибочные измерения в результате небрежности при отсчете по прибору или неразборчивой записи показаний, при неправильном включении прибора или при нарушении условий, в которых должен проводиться опыт (изменение напряжения, загрязнение материала и т. д.). Данные погрешности легко выявляются при повторном проведении экспериментов.

В связи с вышесказанным, систематические и грубые погрешности, промахи считаются исключенными из результатов эксперимента.