

# Организация научных исследований III

## 1. Разработка методики исследования

- Выбор и разработка методик проведения исследования.
- Методическое обеспечение экспериментальных исследований.
- Техника эксперимента и контрольно-измерительная аппаратура.
- Планирование эксперимента.

## 2. Процесс проведения исследования.

- Надежность и достоверность результатов.
- Воспроизводимость экспериментальных данных.
- Математическая и статистическая обработка экспериментальных результатов.
- Систематические и случайные ошибки измерений. Выбросы.

Научное исследование осуществляется **по принципиальному плану**, который строится в зависимости от количества информации об объекте исследования.

### Планы бывают:

**- разведывательные** - применяются, если об объекте и предмете исследования нет ясных представлений и трудно выдвинуть рабочую гипотезу.

Цель составления плана - уточнение темы (проблемы) и формулировка гипотезы.

Применяется, если по теме исследования литература отсутствует или ее очень мало.

**- аналитические (описательные)** - используются, если можно выделить объект и предмет исследования и сформулировать описательную гипотезу.

Цель плана – проверить эту гипотезу, описать факты, характеризующие объект исследования.

**- экспериментальные** - включают проведение эксперимента.

План применяется, если сформулированы научная проблема и объяснительная гипотеза.

Цель плана – определение причинно-следственных связей в исследуемом объекте. В процедурной части программы обосновывается выбор методов исследования, показывается связь данных методов с целями, задачами и гипотезами исследования.

План работ включает поэтапное выполнение поставленных в исследовании задач, сроки исполнения этапов, ожидаемые результаты и форму их представления.

# Планирование эксперимента

**Планирование эксперимента позволяет повысить эффективность экспериментальных исследований:** интенсифицировать труд исследователя, сократить сроки и затраты на эксперимент, повысить достоверность результатов исследования.

**Теория планирования эксперимента раскрывает следующие вопросы:**

- 1) Как следует организовать эксперимент, чтобы наилучшим образом решить поставленную задачу (в смысле затрат времени и средств или точности результатов)?
- 2) Как следует обрабатывать результаты эксперимента, чтобы получить максимальное количество информации об исследуемом объекте?
- 3) Какие обоснованные выводы можно сделать об исследуемом объекте?

**Основой теории планирования эксперимента** является математическая статистика, которая применима в тех случаях, когда его результаты могут рассматриваться как случайные величины или случайные процессы, что практически всегда имеет место

**Планирование эксперимента** – это процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью.

**При этом существенно следующее:**

- стремление к минимизации общего числа опытов;
- одновременное варьирование всеми переменными, определяющими процесс, по специальным правилам – алгоритмам;
- использование математического аппарата, формализующего действия экспериментатора;
- выбор стратегии, позволяющей принимать обоснованные решения после каждой серии экспериментов.

**При составлении плана эксперимента учитывают:**

- цель и задачи исследования;
- наличие и освоенность конкретных методик и методов, необходимых для выполнения опытно-экспериментальной работы;
- объем и число опытов;
- средства измерения;
- способы обработки результатов.
- сроки этапов эксперимента, планируют резерв времени.

**В работах экспериментального плана** методика определяет вид, характер и количество экспериментов, уровень точности измерений и способ их проведения.

**Для теоретических работ** под методикой понимают ход решения задачи на основании расчетов, выполненных на математических или физических моделях изучаемого объекта. Эксперимент в этом случае может не проводиться или быть очень ограниченным.

**Большинство технологических НИР носит смешанный характер** и предусматривает теоретическое исследование проблемы с последующей экспериментальной проверкой его результатов, либо разработку на экспериментальной основе теоретических представлений о сущности и процессах изучаемого объекта.

**Методика эксперимента должна обеспечивать:**

- целенаправленное наблюдение над объектом,
- создание и фиксацию условий эксперимента (подбор объектов, режимов и условий их работы, средств измерений),
- определение пределов измерений и способов их проведения,
- определение способов поддержания постоянства условий и их варьирования,
- переход от эмпирических наблюдений к теоретическим обобщениям.

# Классификация задач эксперимента

- **оценка определенных характеристик (параметров)** изучаемого объекта, проявляющих себя статистически, а также проверка некоторых гипотез, касающихся этих характеристик. Задача имеет непосредственное отношение **к измерительным процессам**;
- **выявление воздействия на выходную величину (отклик)** тех или иных входных величин (факторов).

Результатом этого эксперимента должно быть одно из утверждений «**да**» или «**нет**», например, влияет ли добавка некоторого компонента на прочность бетона, влияет ли прием определенного лекарства на время выздоровления больных и т.п. Соответствующая экспериментальная процедура называется **дисперсионным анализом**;

- **установление функции отклика**, т.е. статистически достоверной зависимости, связывающей отклик с факторами (построение математической модели изучаемого объекта - задача **регрессионного анализа**);
- **определение степени взаимной статистической связи двух величин**, например производительности труда, затрат на изучение технической информации и количество изобретений и т.п.  
Определение степени подобной связи является предметом **корреляционного анализа**;
- **нахождение оптимальных условий протекания процесса**, т.е. определение значений факторов, при которых отклик является максимальным (или минимальным), например определение температуры, давления, времени протекания реакции, при которых концентрация кислоты на выходе химического реактора является максимальной.  
Эта задача решается в ходе выполнения **экстремального эксперимента**.

# Принципы планирования эксперимента:

- логическая последовательность,
- постепенное увеличение масштабов,
- переход к новому эксперименту после обработки предыдущего.

Программа эксперимента может корректироваться в процессе выполнения работы, поэтому **при разработке плана эксперимента необходимо учитывать:**

- возможность изменения пределов варьируемых факторов или условий измерения;
- количество измерений, необходимых для оценки воспроизводимости результатов и сравнения ее с оценкой суммарной погрешности;
- возможность изменения условия эксперимента в случае плохой воспроизводимости результатов.



## Требования к оборудованию и КиП, используемым в эксперименте:

- **экспериментальный инструмент должен позволять:**
  - а) управлять независимой переменной,
  - б) регистрировать зависимую переменную,
- **аппаратура должна быть откалибрована,**
- **аппаратура должна быть достаточно чувствительна** – измеряемые значения должны быть значительно выше порога измерения,
- **предпочтительнее использовать стандартные,** прошедшие поверку установленным порядком, **средства измерения,**
- **методы измерения должны базироваться на законах и рекомендациях метрологии,**
- **предпочтительны цифровые приборы,** исключаящие ошибку считывания, и имеющие вывод результатов измерения на печать или диаграммную ленту.

# Математическое планирование эксперимента

При планировании эксперимента очень важно определить параметр, который нужно оптимизировать.

Цель исследования должна быть сформулирована очень четко и допускать количественную оценку.

Будем называть **характеристику цели, заданную количественно, параметром оптимизации.**

Параметр оптимизации является реакцией (откликом) на воздействие факторов, которые определяют поведение выбранной вами системы.

Реальные объекты или процессы, как правило, очень сложны. Они часто требуют одновременного учета нескольких, иногда очень многих, параметров.

Каждый объект может характеризоваться всей совокупностью параметров или любым подмножеством этой совокупности, или одним единственным параметром оптимизации.

**Движение к оптимуму возможно, если выбран один - единственный параметр оптимизации!**

## Виды параметров:

- **Экономические параметры оптимизации**, такие, как прибыль, себестоимость и рентабельность, обычно используются при исследовании действующих промышленных объектов (затраты на эксперимент имеет смысл оценивать в любых исследованиях, в том числе и лабораторных).

Если цена опытов одинакова, затраты на эксперимент пропорциональны числу опытов, которые необходимо поставить для решения данной задачи. Это в значительной мере определяет выбор плана эксперимента.

- **Технико-экономические параметры** наибольшее распространение имеет **производительность**. Такие параметры, как **долговечность, надежность и стабильность**, связаны с длительными наблюдениями. Имеется некоторый опыт их использования **при изучении дорогостоящих ответственных объектов**, например радиоэлектронной аппаратуры.

- **Технико-технологические параметры (показатели качества)**  
Почти во всех исследованиях приходится учитывать количество и качество получаемого продукта. Как меру количества продукта используют выход, например, процент выхода химической реакции, выход годных изделий.

# Требования к параметру оптимизации

**Параметр оптимизации** должен обладать следующими признаками:

- должен быть количественным (задаваться числом);
- должен выражаться **одним** числом;
- должен иметь **физический смысл**;
- должен измеряться при любом изменении управляющих факторов;
- должен измеряться с максимальной точностью;
- исследователь должен располагать соответствующей по пределам измерения и классу точности контрольно-измерительной аппаратурой для измерения параметра оптимизации;
- параметр оптимизации должен оценивать эффективность функционирования системы в заранее выбранном смысле (представление об эффективности не остается постоянным в ходе исследования, - оно меняется по мере накопления информации и в зависимости от достигнутых результатов);

**Уметь измерять параметр оптимизации - это значит располагать подходящим прибором.**

# Проведение эксперимента

## Требования к проведению эксперимента

- в контролируемых условиях, так, чтобы выделить эффект в чистом виде.
  - фиксация всех результатов эксперимента (в том числе "неудобных") в рабочем журнале
  - поиск аналогий и различий в сопоставлении с располагаемой системой знаний
  - обобщение наблюдений
  - необходимо учитывать возможность взаимодействия исследуемого объекта с измерительными приборами
- эксперименты, не подтверждающие теоретические представления, должны быть проведены с особой тщательностью
- наиболее важны отклонения от закономерностей
- любые подтасовки результатов несовместимы с научной этикой, выпадающие результаты должны быть подтверждены и объяснены.

# Надежность, достоверность и воспроизводимость данных

**Надёжными** считаются результаты, которые при повторном измерении в тех же условиях повторяются с точностью до погрешности измерения, причем измеренные значения подтверждаются не разово, не случайно, а стабильно и постоянно.

Результаты принимаются **достоверными**, если эксперимент показал, что они в удовлетворительной мере (соответствующей заданной точности) приближены к действительности. При этом достоверность определяется как самой мерой соответствия сведений действительности, так и субъективными требованиями к этой мере: повышение достоверности данных может быть достигнуто повышением количества экспериментов, точности измерения исследуемого свойства объекта или увеличением числа независимых источников информации.

**Достоверность** - несомненная верность приводимых сведений для воспринимающего их человека. Т.о., результаты могут являться достоверными или недостоверными только для исследователя, который их воспринимает.

**Достоверность - субъективна, истина - объективна.**

**Воспроизводимость результатов** - это наличие возможности повторить научный эксперимент через любой промежуток времени с получением результатов, разброс значений которых не превышает требований к точности эксперимента.

# Измерения

**Измерение** – процесс нахождения значения физической величины с помощью специальных технических средств – измерительных приборов

**Измерительным прибором** называют устройство, с помощью которого осуществляется сравнение измеряемой величины с физической величиной того же рода, принятой за единицу измерения.

Различают прямые и косвенные методы измерений.

**Прямые методы измерений** – методы, при которых значения определяемых величин находятся **непосредственным сравнением** измеряемого объекта с единицей измерения (**эталон**).

**Косвенные методы измерений** – методы, при которых значения определяемых величин вычисляются по результатам прямых измерений других величин, с которыми они связаны известной **функциональной зависимостью**.

**Точность измерений** – характеристика качества измерений, отражающая **близость результатов** измерений к **истинному значению** измеряемой величины.

**Достоверность результатов измерений** определяется не только достигнутой **точностью средств измерений**, но и надежностью ее сохранения за некоторый период эксплуатации приборов

# Ошибки измерения

**Процесс измерения сопровождается ошибками, которые вызываются:**

- несовершенством измерительных средств,
- нестабильностью условий проведения измерений,
- несовершенством самого метода и методики измерений,
- недостаточным опытом и несовершенством органов чувств человека, выполняющего измерения,
- другими факторами.

**1.** Погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины, называется **абсолютной**. Она не всегда информативна.

**2.** Более информативна **относительная погрешность** - отношение абсолютной погрешности измерения к ее истинному значению (или математическому ожиданию). Именно **относительная погрешность используется для характеристики точности измерения.**



**По своему характеру** (закономерностям проявления) погрешности измерения подразделяются **на систематические, случайные и грубые промахи.**

**3. К систематическим погрешностям** относят погрешности, которые при повторных измерениях остаются постоянными или изменяются по какому-либо закону. Систематические погрешности при измерении одним и тем же методом и одними и теми же измерительными средствами всегда имеют постоянные значения.

**К причинам, вызывающим их появление, относят:**

- погрешности метода или теоретические погрешности;
- инструментальные погрешности;
- погрешности, вызванные воздействием окружающей среды и условий измерения.

**3.1. Погрешности метода** происходят вследствие ошибок или недостаточной разработанности метода измерений.

К погрешностям метода относят также влияние инструмента на свойства объекта и погрешности, связанные с чрезмерно **грубым округлением результата измерения.**

**3.2. Инструментальные погрешности** связаны с погрешностями средств измерения, **вызванными** погрешностями изготовления или **износом составных частей измерительного средства.**

**3.3. К погрешностям, вызванным воздействием окружающей среды** и условий измерений, относят температуру (например, измерения еще не остывшей детали), вибрации, нежесткость поверхности, на которую установлено измерительное средство, и т. п.

Постоянные систематические погрешности не влияют на значения случайных отклонений измерений от средних арифметических, поэтому их сложно обнаружить статистическими методами.

**Полностью систематическую погрешность исключить практически невозможно;** всегда в процессе измерения остается некая малая величина, называемая **неисключенной систематической погрешностью.** Эта величина учитывается путем внесения поправок.

Разность между средним арифметическим значением результатов измерения и значением меры с точностью, определяемой погрешностью при ее аттестации, называется **поправкой.** Она вносится в паспорт аттестуемого средства измерения и принимается за искомую систематическую погрешность.

## Методы обнаружения систематической погрешности:

- замена средства измерений на аналогичное,
- замена внешних условий функционирования средства измерения (например, замена поверхности, на которую установлено измерительное средство, на более жесткую),
- путем статистической фиксации параметра с заданной периодичностью. Устойчивое движение результата измерений в сторону одной из границ означает появление систематической погрешности.

Для исключения систематической погрешности в производственных условиях проводят проверку средств измерений, устраняют те причины, которые вызваны воздействиями окружающей среды, сами измерения проводят в строгом соответствии с рекомендуемой методикой, принимая в необходимых случаях меры по ее совершенствованию.

**4. Случайные погрешности** - погрешности, принимающие при повторных измерениях различные, независимые по знаку и величине значения, не подчиняющиеся какой-либо закономерности.

**Для случайных погрешностей характерен ряд условий:**

- малые по величине случайные погрешности встречаются чаще, чем большие;
- отрицательные и положительные относительно средней величины измерений, равные по величине погрешности, встречаются одинаково часто;
- для каждого метода измерений есть свой предел, за которым погрешности практически не встречаются (в противном случае эта, погрешность будет грубым промахом).

Влияние случайных погрешностей **выражается в разбросе** полученных результатов относительно математического ожидания, поэтому **количественно наличие случайных погрешностей хорошо оценивается среднеквадратическим отклонением (СКО).**

Случайные погрешности измерения, не изменяя точности результата измерений, тем не менее, оказывают влияние на его достоверность.

**5. Грубые погрешности (промахи)** – погрешности, не характерные для технологического процесса или результата, приводящие к явным искажениям результатов измерения.

Наиболее часто они допускаются неквалифицированным персоналом при неправильном обращении со средством измерения неверным отсчетом показаний, ошибками при записи или вследствие внезапно возникшей посторонней причины при реализации технологических процессов.

Если в процессе измерений удастся найти причины, вызывающие существенные отличия, и после устранения этих причин повторные измерения не подтверждают подобных отличий, то такие измерения могут быть исключены из рассмотрения.

Но необдуманное отбрасывание резко отличающихся от других результатов измерений может привести к существенному искажению характеристик измерений.

# Метрологические характеристики измерительных средств

## Основные нормируемые характеристики измерительных средств для технических измерений:

- **диапазон измерений** - область значений измеряемой величины, для которой нормированы пределы погрешности прибора;
- **диапазон показаний (измерений по шкале)** - область значений шкалы, ограниченная ее начальным и конечным значениями (Диапазон измерений меньше или равен диапазону показаний);
- **пределы измерения** - наибольшее или наименьшее значение диапазона измерения;
- **цена деления шкалы** - разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы;
- **длина (интервал) деления шкалы** - расстояние между осями двух соседних отметок шкалы;
- **чувствительность** - свойство, отражающее способность реагировать на изменение измеряемой величины;
- **стабильность** - свойство, отражающее постоянство во времени метрологических показателей.

**Основная метрологическая характеристика измерительного средства - инструментальная погрешность средства.**

В зависимости от условий использования измерительных средств различают **основную** и **дополнительную погрешность**.

**Основной погрешностью средства измерений** называют погрешность при использовании средства измерения в нормальных условиях, указываемых в стандартах, технических условиях, паспортах и т.п.

**В зависимости от режима применения различают динамическую и статическую погрешности.**

**Статическая погрешность** измерительного средства - погрешность, возникающая при использовании измерительных средств для измерения постоянной величины.

**Динамическая погрешность** - погрешность, возникающая при использовании измерительного средства для измерения переменной во времени величины.

Пределы допускаемой основной погрешности задают в виде абсолютных, относительных или приведенных погрешностей измерительного средства.

# Статистическая обработка результатов эксперимента

Если в результате измерения  $n$  раз некоторой физической величины  $x$  получен ряд значений  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , то в качестве значения, наиболее близкого к истинному, принимается среднее арифметическое

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

Случайную ошибку измерений оценивают по среднеквадратичному отклонению от среднего значения измеряемой величины  $x$ .

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - x_i)^2}{n(n-1)}}$$

Истинное значение измеренной величины  $x$  лежит в интервале от  $(x - \Delta x)$  до  $(x + \Delta x)$ , где  $\Delta x$  называется доверительным интервалом. Вероятность этого события (доверительная вероятность) составляет  $P$ .

Доверительный интервал рассчитывается по формуле

$$\Delta x = S_x t_{P, n-1}$$

где  $t_{P, n-1}$  - коэффициент Стьюдента, зависящий от доверительной вероятности  $P$  и числа измерений  $n$ .

Таким образом, окончательная форма записи результата имеет вид