

# Теория и методы инженерного эксперимента

## Основные задачи исследовательской работы

### Задачи теоретических исследований

Цель –

- выявление существующих связей между исследуемым объектом и окружающей средой,
- объяснение и обобщение результатов эмпирических исследований,
- выявление общих закономерностей и их формализация.

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

Структурно любая задача включает условия и требования.

Условия – это определенная информационная система, из которой следует исходить при решении задачи.

Требования – это цель, к которой нужно стремиться в результате решения.

## Основные типы теоретических задач:

- обобщение результатов исследований, нахождение общих закономерностей путем обработки и интерпретации опытных данных;
- расширение результатов исследований на ряд подобных объектов без повторения всего объема исследований;
- изучение объекта, недоступного для непосредственного исследования;
- повышение надежности экспериментального исследования объекта (обоснования параметров и условий наблюдения, точности измерений).

## Классификация экспериментальных исследований

Основной целью эксперимента является проверка теоретических положений (подтверждение рабочей гипотезы), а также более широкое и глубокое изучение темы научного исследования.

Различают эксперименты естественные и искусственные.

Естественные эксперименты характерны при изучении социальных явлений (социальный эксперимент) в обстановке, например, производства, быта и т.п.

Искусственные эксперименты широко применяются во многих естественнонаучных исследованиях. В этом случае изучают явления, изолированные до требуемой степени, чтобы оценить их в количественном и качественном отношении.

Рассмотрим классификацию экспериментальных исследований.

Примем схему, в которой выделим следующие обобщенные признаки эксперимента:

- Структура;
- Стадия научных исследований, к которой относится эксперимент;
- Организация;
- Постановка задачи;
- Способ проведения.

По структуре эксперименты делят на **натурные, модельные и имитационные** (машинные).

В **натурном эксперименте** средства исследования непосредственно взаимодействуют с объектом исследования.

В **модельном** эксперименте не с объектом, а с его заменителем – моделью. Модель при этом играет двойную роль.

Во-первых, она является объектом экспериментального исследования.

Во-вторых, по отношению к изучаемому объекту она является средством экспериментального исследования.

**Имитационное моделирование** является разновидностью модельного эксперимента, при котором соответствующие характеристики исследуемого объекта исследуются с помощью разработанных алгоритмов и программ моделирования.

Данный вид эксперимента отличается универсальностью и обладает широкой областью применения

По стадии научных исследований эксперименты делятся **на лабораторные, стендовые и промышленные.**

**Лабораторные эксперименты** служат для изучения общих закономерностей различных явлений и процессов, для проверки научных гипотез и теорий.

**Стендовые испытания** проводят при необходимости изучить вполне конкретный процесс, протекающий в исследуемом объекте с определенными физическими, химическими и др. свойствами. (например, наработка на отказ)

По результатам стендовых испытаний судят о различных недоработках при создании нового объекта, а также вырабатывают рекомендации относительно серийного выпуска изделий и условий его эксплуатации.

**Промышленный эксперимент** проводят при создании нового изделия или процесса по данным лабораторных и стендовых испытаний, при оптимизации существующего процесса, при проведении контрольно-выборочных испытаний качества выпускаемой продукции.

**Лабораторные и стендовые опыты** проводят с применением типовых приборов, специальных моделирующих установок, стендов, оборудования и т.д. Эти исследования позволяют наиболее полно и доброкачественно, с требуемой повторяемостью изучить влияние одних характеристик при варьировании других.

Лабораторные опыты в случае достаточно полного научного обоснования эксперимента (математическое планирование) позволяют получить хорошую научную информацию с минимальными затратами.

Однако, такие эксперименты не всегда полностью моделируют реальный ход изучаемого процесса, поэтому возникает потребность в проведении производственного эксперимента.

**Производственные экспериментальные** исследования имеют целью изучить процесс в реальных условиях с учетом воздействия различных случайных факторов производственной среды.

**Пассивные производственные эксперименты** заключаются в сборе данных и анализе случайных отклонений от заданных параметров процесса.

В **активных экспериментах** изменения параметров процесса заранее планируют и задают.

Иногда возникает необходимость провести **поисковые экспериментальные исследования**. Они необходимы в том случае, если затруднительно классифицировать все факторы, влияющие на изучаемое явление вследствие отсутствия достаточных предварительных данных. На основе предварительного эксперимента строится программа исследований в полном объеме.



С точки зрения организации эксперимента можно выделить:

- **обычные (рутинные) эксперименты,**
- **специальные (технические),**
- **уникальные,**
- **смешанные.**

**Обычные эксперименты**, как правило, проводятся в лабораториях по несложным методикам с применением сравнительно простого экспериментального оборудования и сопряжены с однообразными измерениями и вычислениями.

**Специальные эксперименты** связаны с созданием и исследованием различных приборов и аппаратов (средства автоматики, элементы, узлы контрольно-измерительных систем).

**Уникальные эксперименты** проводятся на сложном экспериментальном оборудовании (типа ядерного реактора, новые виды судов, самолетов, автомобилей, исследования космоса). Они характеризуются большими объемами экспериментальных данных, высокой скоростью протекания исследуемых процессов, широким диапазоном изменения характеристик исследуемого процесса.

**Смешанные эксперименты** содержат совокупность разнотипных экспериментов, объединенных единой программой исследования и связанных друг с другом результатами исследований.

По постановке задачи необходимо учитывать уровень сложности исследуемого объекта, степень его изученности и требуемую степень детализации его описания.

По способу проведения различают

- **пассивные,**
- **активные,**
- **активные с программным управлением,**
- **активные с обратной связью,**
- **активно-пассивные эксперименты.**

**Пассивный эксперимент** основан на регистрации входных и выходных параметров, характеризующих объект исследования без вмешательства в ход эксперимента. Обработка собранных экспериментальных данных осуществляется после окончания эксперимента. Обычно изменяется только один фактор при фиксированных значениях всех остальных.

При **активном эксперименте** предполагается возможность активного воздействия на объект исследования. Т.е. на вход объекта подаются возмущающие воздействия, на выходе регистрируются статические и динамические характеристики. При активном эксперименте можно оценить дисперсию ошибки, строго проверить адекватность модели, выполнить множественный регрессионный анализ.

**Активный эксперимент с программой управления** проводится по заранее составленному плану. В соответствии с этим планом осуществляется воздействие экспериментатора на входные параметры и регистрируются выходные, что позволяет выяснить природу происходящих в объекте процессов.

В случае **активного эксперимента с обратной связью**, имея результаты эксперимента на каждом шаге, можно выбрать оптимальную стратегию управления экспериментом. Такие эксперименты можно проводить автоматически.

Активно-пассивный эксперимент характеризуется тем, что при его проведении одна часть данных регистрируется, а другая просто фиксируется и обрабатывается в процессе эксперимента. В таком эксперименте имеется 2 вида характеристик: одна часть – изменяющиеся под воздействием управляющих сигналов, вторая - не подверженные управляющим воздействиям.

Если эксперимент хорошо продуман и **удачно спланирован**, то он имеет больше шансов на успех. Основываясь на известных теориях и экспериментальных результатах, можно так выбрать способы и методы измерений, чтобы получить как можно больше сведений. Очень важно исключить влияние внешней среды или свести его к нулю.

Итак, теория эксперимента включает три основных направления:

Первое – **подобие и моделирование**. Отвечает на вопросы, какие величины следует измерять во время эксперимента и в каком виде обрабатывать результаты, чтобы выводы оказались справедливыми не для данного частного случая, но и для группы объектов или явлений.

Второе – **математическое планирование эксперимента**. Включает совокупность процедур для построения искомых зависимостей с минимальными затратами.

Третье – **статистическая обработка данных эксперимента**. Позволяет на основе данных, имеющих погрешности получить достоверные результаты.

## Общая характеристика объекта исследования

**Условимся под объектом исследования понимать изолированное целое, содержащее совокупность процессов и средств их реализации.**

Средства реализации – устройства контроля, управления и связи между ними и объектом.

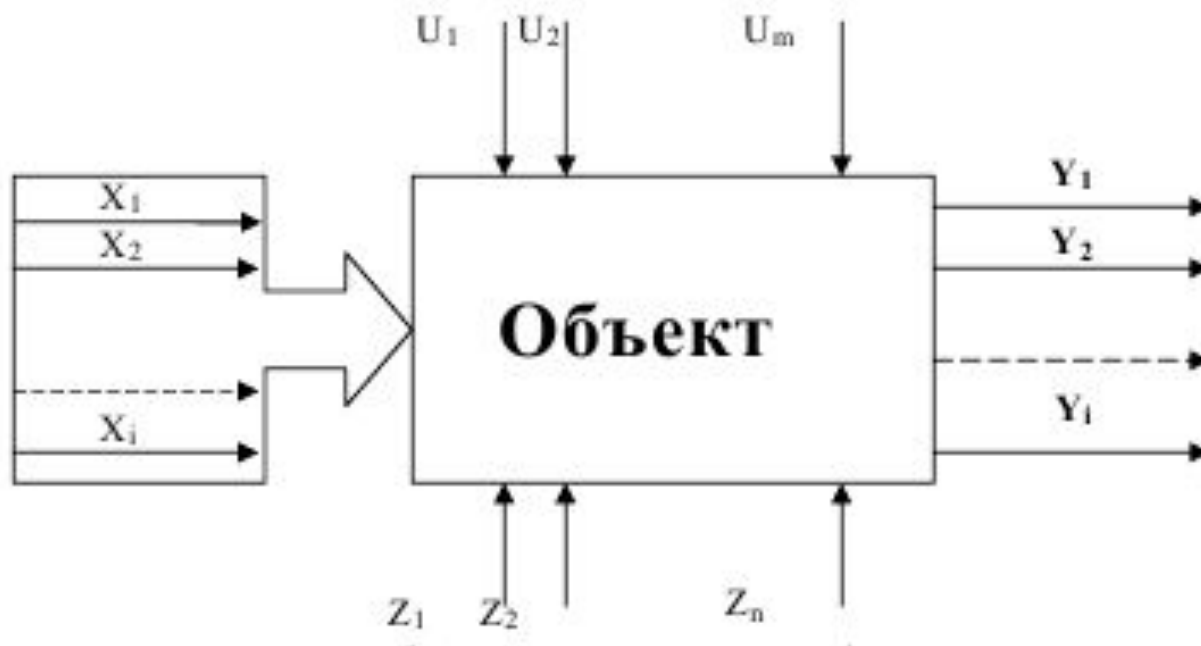
Полностью изолированных объектов в природе не существует.

Но тут необходимы методы абстрагирования и идеализации, для того, чтобы отсеять второстепенное и выделить главное, и представить объект исследования как условно изолированное целое.

Условимся, используя модель «черный ящик», предполагать, что внутренняя структура и характер связей между входными и выходными величинами исследователю неизвестны, о них он судит по значениям на выходе при определенных значениях на входе.

Входные величины  $X$  условимся называть факторами, выходные  $Y$  откликами, параметрами, реакцией, целевой функцией.

Под входными величинами понимаем все, что оказывает влияние на выходные величины.



Правильный выбор параметров и факторов в значительной степени предопределяет успех исследования.

Строго формализованной методики не существует, многое зависит от опыта экспериментатора, проникновения в сущность объекта исследования, знания теории эксперимента.

## Параметры и предъявляемые к ним требования

В инженерном эксперименте в качестве параметров, как правило, принимаются экономические величины (приведенные затраты, себестоимость, производительность труда и т.п.) или технические показатели (к.п.д., расход энергии, производительность машины, давление, напряжение и т.д.).

К параметрам предъявляют следующие основные требования:

- должен быть **количественным и оцениваться числом**. Для качественных показателей используются ранговые и условные показатели оценки;
- параметр должен *допускать проведение эксперимента при любом сочетании факторов*. Недопустимо, чтобы при каком-то сочетании произошел взрыв или какая-либо другая форс-мажорная ситуация;
- данному сочетанию факторов с точностью до погрешности должно соответствовать **одно значение параметра**;
- параметр должен быть **универсальным**, т.е. характеризовать объект всесторонне;
- желательно, чтобы параметр имел **простой экономический или физический смысл**, просто и легко вычислялся;



Рекомендуется, чтобы параметр **был единственным**.

Исследовать объект, строить математические зависимости можно для каждого параметра, но **оптимизировать можно только по одному**.

Если параметров несколько, то целесообразно подходить к задаче постановки исследования как к многокритериальной задаче.

В частности, исследователем выбирается один **основной критерий** – остальные выступают в **виде ограничений**.

Есть и другие подходы – когда вводится единый критерий, например

$$\Phi = \beta_1 \Phi_1(A) + \dots + \beta_K \Phi_K(A)$$

А коэффициенты  $\beta_i \geq 0$ , обычно требуют, чтобы  $\sum \beta_i = 1$ .

**Единый критерий** считается решающим, а коэффициенты  $\beta_i$  отражают важность каждого из составляющих критериев.

Есть, так называемый «**метод уступок**» – когда производится последовательная оптимизация всех критериев с назначением уступок по каждому критерию на соответствующем шаге оптимизации.

## **Факторы и предъявляемые к ним требования**

**Фактором является любая величина, влияющая на параметр и способная изменяться независимо от других.**

Факторы можно разделить на следующие 3 группы:

- **контролируемые и управляемые**, которые можно изменять и устанавливать на заданном экспериментатором уровне ;
- **контролируемые, но неуправляемые** величины;
- **неконтролируемые и неуправляемые** (обусловленные случайными воздействиями, износом деталей и т.п.).

Кроме независимости, к факторам предъявляются и другие требования:

- **операциональности** (факторы должны быть операционально определяемыми – т.е. в какой именно точке и каким прибором будут измеряться);
- **совместимость** – при всех сочетаниях значений факторов эксперимент будет безопасно выполнен;
- **управляемость** – экспериментатор устанавливает значение уровня по своему усмотрению;
- **точность** установления факторов должна быть существенно выше (по крайней мере на порядок) точности определения параметра.
- **однозначность** – означает непосредственность воздействия фактора (либо их комбинации-критерия подобия) на объект исследования.
- фактор должен быть **количественным**.

**Группа U** включает в себя контролируемые факторы, которые не допускают целенаправленного изменения в ходе исследования.

К ним можно отнести, например, условия окружающей среды, в которых проводятся эксперименты.

**Группа Z** образована контролируемыми и неконтролируемыми факторами. Они характеризуют возмущения, действующие на объект исследования, которые нельзя измерить количественно (например, неконтролируемые примеси в сырье, старение деталей и т.п.).

Воздействие неконтролируемых факторов приводит к **дрейфу характеристик во времени**.

## Основные свойства объекта исследования

Основными свойствами объекта исследования являются:

**сложность, полнота априорной информации, управляемость и воспроизводимость.**

**Сложность** характеризуется **числом состояний**, которые в соответствии с целью исследований, можно различать при проведении исследований.

**Априорная** (информация известная до начала исследования). Обычно в исследованиях нуждаются объекты, информация о которых ограничена.

**Управляемость** – свойство, позволяющее изменять состояние объекта по **усмотрению исследователя**. В управляемых объектах можно изменять все входные величины. В частично управляемых системах можно ставить эксперимент, за неуправляемыми можно только наблюдать.

**Воспроизводимость** – свойство объекта переходить в одно и то же состояние при одинаковых сочетаниях факторов. Чем выше воспроизводимость, чем проще выполнять эксперимент и тем **достовернее его результаты**.

Прежде всего, необходимо определить, в чем именно заключается **задача**, так как реальные ситуации редко бывают **четко очерчены**.

Процесс выделения «задачи», поддающейся математическому анализу, часто бывает продолжительным и требует владения многими навыками (например, общения с коллегами-специалистами, работающими в данной области техники, чтение литературы, глубокое изучение вопроса).

Часто одновременно со стадией постановки задачи идет процесс **выявления основных или существенных особенностей явления**.

Этот процесс схематизации (идеализации) играет решающую роль, поскольку в реальном явлении участвует множество процессов, и оно чрезвычайно сложно. Некоторые черты представляются важными, другие – несущественными.

Очевидно, математической моделью объекта, изображенного на рисунке, может служить совокупность соотношений вида

$$Y = f(x_i, y_j, z_k),$$

однако практически при построении модели такие соотношения получить невозможно.

Приходится вводить **ограничения**, например, считать, что каждый из параметров может изменяться в определенных пределах, обусловленных верхней и нижней границами.