



Аналитические и численные методы в планировании экспериментов в инженерном анализе

**Кафедра «Эксплуатация транспортных
систем и логистика»**

Лекционный курс

Автор

Павленко А. Н.

Ростов-на-Дону,
2018

Аннотация

Лекционный курс предназначен для студентов очной, заочной форм обучения направления 23.04.01 Технология транспортных систем

Автор

Павленко Андрей Николаевич –

к.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика»

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЭКСПЕРИМЕНТ КАК ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	4
1.1. Понятие эксперимента	4
1.2. Классификация видов экспериментальных исследований	5
Контрольные вопросы	10

ЭКСПЕРИМЕНТ КАК ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Понятие эксперимента

Во многих областях научной и практической деятельности современного человека значительное место занимают теоретические методы изучения различных объектов и процессов окружающего нас мира. Так, в металлургии все более широкое применение находят результаты, полученные на основе теоретического решения задач теории пластичности, механики жидкости и газов, физики металлов, феноменологической теории разрушения материалов и других теоретических дисциплин. Однако, несмотря на высокую эффективность теоретических методов, при рассмотрении конкретных технологических проблем, особенно в условиях действующего производства, инженеру зачастую приходится сталкиваться с задачами, решение которых практически невозможно без организации и проведения того или иного экспериментального исследования.

С общефилософской точки зрения эксперимент (от латинского *experimentum* – проба, опыт) – это чувственно-предметная деятельность в науке; в более узком смысле – опыт, воспроизведение объекта познания, проверка гипотез и т.д.

В технической литературе термину эксперимент устанавливается следующее определение – система операций, воздействий и (или) наблюдений, направленных на получение информации об объекте исследования.

Являясь источником познания и критерием истинности теорий и гипотез, эксперимент играет очень важную роль как в науке, так и в инженерной практике. Эксперименты ставятся в исследовательских лабораториях и на действующем производстве, в медицинских клиниках и на опытных сельскохозяйственных полях, в космосе и в глубинах океана.

Хотя объекты исследований очень разнообразны, методы экспериментальных исследований имеют много общего:

- каким бы простым ни был эксперимент, вначале выбирают план его проведения;
- стремятся сократить число рассматриваемых переменных, для того чтобы уменьшить объем эксперимента;
- стараются контролировать ход эксперимента;
- пытаются исключить влияние случайных внешних воздействий;
- оценивают точность измерительных приборов и точность получения данных;
- и наконец, в процессе любого эксперимента анализируют полученные результаты и стремятся дать их интерпретацию, поскольку без этого решающего этапа весь процесс экспериментального исследования не имеет смысла.

К сожалению, зачастую работа экспериментатора настолько хаотична и неорганизована, а ее эффективность так мала, что полученные результаты не в состоянии оправдать даже тех средств, которые были израсходованы на проведение опытов. Поэтому вопросы организации эксперимента, снижения

Аналитические и численные методы в планировании экспериментов в инженерном анализе

затрат на его проведение и обработку полученных результатов являются весьма и весьма актуальными.

Современные методы планирования эксперимента и обработки его результатов, разработанные на основе теории вероятностей и математической статистики, позволяют существенно (зачастую в несколько раз) сократить число необходимых для проведения опытов. Знание и использование этих методов делает работу экспериментатора более целенаправленной и организованной, существенно повышает как производительность его труда, так и надежность получаемых им результатов.

Как и любая другая научная дисциплина, организация и планирование эксперимента имеют свою строго определенную, во многом регламентируемую стандартами (ГОСТ 15895-77, ГОСТ 16504-81, ГОСТ 24026-80), терминологию, для первоначального знакомства с которой мы рассмотрим классификацию видов эксперимента.

1.2. Классификация видов экспериментальных исследований

Прежде всего отметим, что любой эксперимент предполагает проведение тех или иных опытов.

Опыт – воспроизведение исследуемого явления в определенных условиях проведения эксперимента при возможности регистрации его результатов.

По цели проведения и форме представления полученных результатов эксперимент делят на качественный и количественный.

Качественный эксперимент устанавливает только сам факт существования какого-либо явления, но при этом не дает никаких количественных характеристик объекта исследования. Любой эксперимент, каким бы сложным он ни был, всегда заканчивается представлением его результатов, формулировкой выводов, выдачей рекомендаций. Эта информация может быть выражена в виде графиков, чертежей, таблиц, формул, статистических данных или словесных описаний. Качественный эксперимент как раз и предусматривает именно словесное описание его результатов.

Пример 1.1. Если взять два куска стальной проволоки диаметром 5,0 мм, один из которых после пластической деформации не имел термической обработки (проволока 5,0-II ГОСТ 3282-74), а второй прошел операции отжига (проволока 5,0-О-С ГОСТ 3282-74), и подвергнуть их нескольким перегибам, то легко убедиться, что термически не обработанный металл разрушается раньше (при меньшем числе перегибов), т.е. имеет меньшую пластичность.

Однако словесное описание – не самый эффективный и информативный способ представления результатов эксперимента, поскольку он не позволяет дать количественных рекомендаций, проанализировать свойства объекта в иных условиях. Поэтому в инженерной практике основное содержание эксперимента представляется числом и количественными зависимостями.

Аналитические и численные методы в планировании экспериментов в инженерном анализе

Количественный эксперимент не только фиксирует факт существования того или иного явления, но, кроме того, позволяет установить соотношения между количественными характеристиками явления и количественными характеристиками способов внешнего воздействия на объект исследования.

В условиях примера 1.1, для того чтобы перевести эксперимент из разряда "качественный" в "количественный", необходимо:

- определить и количественно описать те параметры процесса отжига и те свойства материала, которые по предположению могут повлиять на пластичность стали (например: температура отжига, °С; скорость охлаждения, °С/ч, фактический химический состав стали, из которой изготовлена проволока и т.д.);
- выбрать ту или иную количественную характеристику пластичности металла (например, число перегибов проволоки к моменту ее разрушения по ГОСТ 1579-93);
- в результате эксперимента необходимо установить количественную зависимость между пластичностью проволоки и параметрами процесса термообработки, с учетом тех возможных колебаний химического состава, которые допустимы для данной марки стали.

Итак, количественный эксперимент прежде всего предполагает количественное определение всех тех способов внешнего воздействия на объект исследования, от которых зависит его поведение – количественное описание всех факторов.

Фактор – переменная величина, по предположению влияющая на результаты эксперимента.

Например, в качестве факторов рассматриваемого иллюстративного эксперимента можно выбрать температуру отжига, скорость охлаждения, процентное содержание углерода или любого другого химических элемента, регламентированного для данной марки стали.

В отдельном конкретном опыте каждый фактор может принимать одно из возможных своих значений – уровень фактора. Уровень фактора – фиксированное значение фактора относительно начала отсчета.

Например, одним уровнем такого фактора, как скорость охлаждения при отжиге, может быть 50 °С/ч, другим – 100 °С/ч и т.д.

Фиксированный набор уровней всех факторов в каждом конкретном опыте как раз и определяет одно из возможных состояний объекта исследования.

Аналитические и численные методы в планировании экспериментов в инженерном анализе

При проведении опытов очень многое зависит от того, насколько активно экспериментатор может "вмешиваться" в исследуемое явление, имеет он или нет возможность устанавливать те уровни факторов, которые представляют для него интерес.

С этой точки зрения все факторы можно разбить на три группы:

- контролируемые и управляемые – это факторы, для которых можно не только зарегистрировать их уровень, но еще и задать в каждом конкретном опыте любое его возможное значение;
- контролируемые, но неуправляемые факторы – это факторы, уровни которых можно только регистрировать, а вот задать в каждом опыте их определенное значение практически невозможно;
- неконтролируемые – это факторы, уровни которых не регистрируются экспериментатором и о существовании которых он даже может и не подозревать.

В примере 1.1 в качестве контролируемых и управляемых факторов можно очень вероятно рассматривать температуру отжига и скорость охлаждения проволоки. А вот фактическое процентное содержание различных химических элементов стали, по всей видимости, попадет в группу контролируемых, но неуправляемых факторов. Дело здесь в том, что химический состав еще может и удастся зарегистрировать (переписав его из паспорта плавки или из сопроводительных документов на данную партию проволоки), но вот задать, в условиях реального действующего сталеплавильного производства, для каждого опыта строго определенное процентное содержание, например, углерода – задача практически невыполнимая. Наконец, к группе неконтролируемых факторов в этом примере можно отнести массу причин, по которым может измениться пластичность металла (неравномерность деформации металла по длине бунта проволоки в процессе прокатки или при волочении, неблагоприятные условия хранения металла, приводящие к его повышенной коррозии, и т.д. и т.п., на сколько в данном случае хватит фантазии исследователя).

В количественном эксперименте необходимо не только регистрировать уровни всех контролируемых факторов, но и иметь возможность устанавливать количественное описание того свойства (отклика) исследуемого явления, которое изучает (наблюдает) экспериментатор. Причем поскольку на объект исследования в процессе эксперимента всегда влияет огромное количество неконтролируемых факторов, что вносит в получаемые результаты некоторый элемент неопределенности, значение отклика, в каждом конкретном опыте, невозможно предсказать заранее. Поэтому воспроизведение исследуемого явления при одном и том же фиксированном наборе уровней всех

Аналитические и численные методы в планировании экспериментов в инженерном анализе

контролируемых факторов всегда будет приводить к различным значениям отклика, т.е. отклик – это всегда случайная величина.

Отклик – наблюдаемая случайная переменная, по предположению зависящая от факторов.

Откликом в условиях примера 1.1 является пластичность стальной проволоки (количество перегибов к моменту разрушения). Причем даже если взять куски проволоки от одного и того же мотка (т.е. металл одной плавки – одинакового химического состава, имеющий один и тот же режим термообработки при одинаковой температуре отжига и скорости охлаждения), то и при этом для каждого куска проволоки мы получим разные (хотя и очень близкие друг к другу) значения пластичности металла.

И наконец, в результате количественного эксперимента необходимо найти зависимость между откликом и факторами – функцию отклика. Причем поскольку отклик – это случайная величина, то, с точки зрения теории вероятностей, его можно задать одним из параметров своего распределения, например математическим ожиданием.

Функция отклика – зависимость математического ожидания отклика от факторов.

В примере с проволокой – это зависимость математического ожидания величины пластичности стали от температуры отжига, скорости охлаждения и химического состава металла.

С учетом приведенного выше деления факторов на три группы, функцию отклика в самом общем случае можно записать в виде

$$M_y = f(x_i, h_j) + \varepsilon \delta, \quad (1.1)$$

где M_y – математическое ожидание отклика; x_i – контролируемые и управляемые факторы; h_j – контролируемые, но неуправляемые факторы; $\varepsilon \delta$ – ошибка эксперимента, учитывающая влияние неконтролируемых факторов.

По тому, какой группой факторов располагает исследователь, количественный эксперимент в свою очередь можно разделить еще на два вида. Если в распоряжении экспериментатора нет управляемых факторов, то такой эксперимент носит название пассивного.

Пассивный эксперимент – эксперимент, при котором уровни факторов в каждом опыте регистрируются исследователем, но не задаются.

Поскольку при пассивном эксперименте исследователь не имеет возможность задать уровень ни одного из факторов, то при проведении опытов ему остается лишь "пассивно" наблюдать за явлением и регистрировать

Аналитические и численные методы в планировании экспериментов в инженерном анализе

результаты. Планирование пассивного эксперимента сводится к определению числа опытов, которые необходимо провести исследователю для решения поставленной перед ним задачи, а конечной целью пассивного эксперимента в большинстве случаев является получение функции отклика в виде

$$M_y = f(h_j) + \varepsilon_{\delta}. \quad (1.2)$$

Если же экспериментатор имеет возможность не только контролировать факторы, но и управлять ими, то такой эксперимент носит название активного.

Активный эксперимент – эксперимент, в котором уровни факторов в каждом опыте задаются исследователем.

Поскольку в этом случае экспериментатор имеет возможность "активно" вмешиваться в исследуемое явление, то естественно, что активный эксперимент всегда предполагает какой-либо план его проведения.

План эксперимента – совокупность данных, определяющих число, условия и порядок реализации опытов.

Поэтому активный эксперимент всегда должен начинаться с планирования.

Планирование эксперимента – выбор плана эксперимента, удовлетворяющего поставленным требованиям.

К требованиям, предъявляемым при планировании активного эксперимента, можно отнести степень точности и надежности результатов, полученных после проведения эксперимента, сроки и средства, имеющиеся в распоряжении исследователя, и т.д.

Целью активного эксперимента может быть либо определение функции отклика в виде

$$M_y = f(x_i) + \varepsilon_{\delta}, \quad (1.3)$$

либо поиск такого сочетания уровней управляемых факторов x_i , при котором достигается оптимальное (экстремальное – минимальное или максимальное) значение функции отклика. В этом последнем случае эксперимент носит еще название поискового (экстремального) эксперимента.

Например, если в случае с разрушением проволоки мы бы поставили перед собой целью найти такое сочетание температуры отжига и скорости

Аналитические и численные методы в планировании экспериментов в инженерном анализе

охлаждения, при которых пластичность металла была бы максимальной, то наш эксперимент стал бы поисковым.

И наконец, по условиям проведения различают лабораторный и промышленный эксперименты.

Лабораторный эксперимент. В лаборатории меньше влияние случайных погрешностей, обеспечивается большая "стерильность" условий проведения опытов, в большинстве случаев осуществляется и более тщательная подготовка, одним словом, выше "культура эксперимента". Как правило, в лабораторных условиях экспериментатор может воспроизвести опыт "одинаково" значительно лучше, чем в промышленности. Это означает, что при прочих равных условиях для установления некоторого факта на заводе потребуется выполнить значительно больше опытов, чем в лаборатории. Другое важное отличие – это большая возможность варьировать (изменять) уровни факторов. Когда в лаборатории исследуется химическая реакция, температуру по желанию можно менять в широких пределах, а в металлургических печах, напротив, если ее и можно менять, то в значительно более узком диапазоне и с большей осторожностью.

Промышленный эксперимент. В промышленных условиях обеспечить условия лабораторного эксперимента значительно труднее. Усложняются измерения и сбор информации, значительно большее влияние на объект исследования и измерительные приборы оказывают различного рода помехи (резко возрастает число неконтролируемых факторов), поэтому в промышленном эксперименте особенно необходимо использовать специальные статистические методы обработки результатов. Кроме того, на реальном действующем производстве всегда желательно по возможно меньшему числу измерений получить наиболее достоверные результаты.

Контрольные вопросы

1. Что такое эксперимент? Какова его роль в инженерной практике?
2. Какие общие черты имеют научные методы исследований для изучения закономерностей различных процессов и явлений в промышленности?
3. Приведите классификации видов экспериментальных исследований, исходя из цели проведения эксперимента и формы представления результатов, а также в зависимости от условий его реализации.
4. В чем заключаются принципиальные отличия активного эксперимента от пассивного?
5. Поясните преимущества и недостатки лабораторного и промышленного эксперимента.
6. В чем отличие количественного и качественного экспериментов?
7. Дайте определения следующим терминам: опыт, фактор, уровень фактора, отклик, функция отклика, план и планирование эксперимента.