Выше всех умозрительных знаний и искусств стоит умение производить опыты, и эта наука есть царица наук.

*Р. Бэкон*

**Планирование эксперимента**- это процесс выбора условий, процедуры и методов проведения опытов, их числа и условий, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью.

**Требования к планированию эксперимента:**

* 1) число опытов должно быть минимальным, чтобы не усложнять процедуру эксперимента и не увеличивать его стоимость, но не в ущерб точности результата;
* 2) необходимо определить совокупность факторов, влияющих на результаты эксперимента, ранжировать их, выявить главные, а несущественные переменные можно исключить;
* 3) условием корректности эксперимента следует считать одновременное варьирование всеми переменными (факторами), оказывающими взаимное влияние на исследуемый процесс;
* 4) ряд действий в эксперименте может быть заменен их моделями (прежде всего математическими), при этом адекватность моделей должна быть проверена и оценена;
* 5) необходимо разработать стратегию эксперимента и алгоритм се реализации: серии эксперимента должны анализироваться после завершения каждой из них перед переходом к последующей серии.

**План проведения эксперимента**должен включать следующие разделы:

* 1. Наименование темы исследования.
* 2. Цель и задачи эксперимента.
* 3. Условия проведения эксперимента: параметр оптимизации и варьируемые факторы.
* 4. Методика проведения исследования.
* 5. Обоснование количества опытов (объема эксперимента).
* 6. Средства и методика проведения измерений.
* 7. Материальное обеспечение эксперимента (перечень оборудования).
* 8. Методика обработки и анализа экспериментальных данных.
* 9. Календарный план проведения испытаний, в котором указываются сроки их выполнения, исполнители, представляемые данные эксперимента.
* 10. Смета расходов.

**Цель и задачи эксперимента**- исходный пункт плана. Они формулируются на основе анализа научной гипотезы, теоретических результатов собственного исследования либо исследований других авторов.

Цель определяет конечный результат эксперимента, т. е. то, что исследователь должен получить в итоге. Например, подтвердить правильные научные гипотезы; проверить на практике адекватность, работоспособность и практическую пригодность моделей, методик; определить оптимальные условия технологического процесса и т. п.

В различных условиях цели требуют разных затрат, средств и методов измерения, времени эксперимента, отражаются на методике его проведения. Эти пункты плана будут различными, например, в условия лабораторного, полевого и производственного экспериментов.

Задачи эксперимента определяют частные цели, с помощью которых может быть достигнута конечная цель либо пути ее достижения. Например, определение оптимальных показателей температуры и давления при изготовлении фулиреновых нанотрубок; установление оптимального соотношения исходных материалов; обоснование скорости протекания технологического процесса и др.

Частными задачами эксперимента при его планировании могут быть:

* - проверка теоретических положений с целью подтверждения их истинности;
* - проверка (уточнение) констант математических либо иных моделей;
* - поиск оптимальных (допустимых) условий какого-либо процесса;
* - построение интерполяционных аналитических зависимостей.

Частные задачи эксперимента могут иметь несколько уровней, т. е. древовидную форму. Рекомендуется формулировать 2-4 сложные задачи и 10-15 более простых задач.

Формулирование **условий проведении эксперимента**- параметра оптимизации и варьируемых факторов.

Величина, описывающая результат проведенного эксперимента, называется **параметром оптимизации**(откликом) системы на воздействие. Множество значений, которые принимает параметр оптимизации, называется областью его определения.

Параметр оптимизации должен быть количественным, задаваться числом и быть измеримым при любом фиксированном наборе уровней факторов. Он обязан характеризоваться однозначно, т. е. заданному набору уровней факторов должно соответствовать, с точностью ошибки эксперимента, одно значение параметра оптимизации. Параметр оптимизации должен всесторонне характеризовать объект исследования, удовлетворять требованию универсальности и полноты. Он должен иметь физический смысл, чтобы обеспечить последующую интерпретацию результатов эксперимента, быть простым и легко вычисляемым.

Параметр оптимизации (отклик) зависит от факторов, влияющих на эксперимент. **Фактор**(лат *.factor -* производящий) - причина какого-либо процесса, явления, определяющая его влияние на объект исследования, его характер или отдельные черты. Это измеряемая величина, и каждое значение, которое может принимать фактор, называется уровнем фактора.

Каждый фактор в эксперименте может принимать одно из нескольких значений. Фиксированный набор уровней нескольких факторов будет определять какие-то конкретные условия проведения эксперимента. Изменение хотя бы одного из факторов приводит к изменению и условий, и, как следствие, к изменению значения параметра оптимизации.

Варьируемые факторы в многофакторном эксперименте определяют цели и условия исследования. Например, факторами в эксперименте по поиску оптимальных условий при производстве наноматериалов могут быть: температура, время воздействия, количество окисла и т. п.

Большое количество факторов делает эксперимент очень сложным и требует довольно много времени. Поэтому весьма важным при планировании эксперимента является сокращение числа факторов и выбор наиболее существенных. При этом можно руководствоваться принципом Парето, в соответствии с которым 20 *%* факторов определяют 80 % свойств системы.

Значимость факторов может быть определена опытным или аналитическим путем. В первом случае - проводится ограниченный эксперимент. При этом один фактор изменяется, а остальные нет, и т. д. Ранжирование «значимых» факторов осуществляется по силе их влияния на результат эксперимента. Те факторы, изменение которых сильнее отражается на конечном результате, считаются более важными. «Несущественными» факторами можно пренебречь.

Если факторов много, этот путь неэффективен, тогда используется аналитический путь, основанный на методах факторного анализа.

Если факторы зависимы, их можно рассчитать с помощью метода топологической декомпозиции и структуры по их влиянию на конечную цель. Задача определения рангов факторов заключается в выделении наиболее связной части графа. Она решается поэтапно.

Сначала определяются «достижимые множества» для каждой вершины графа (для каждого фактора). Затем определяются «контрдостижимые множества», каждое из которых включает все вершины, имеющие путь в вершину. В завершении определяют наиболее существенные вершины графа, составляющие сильно связанный граф. Самые существенные факторы оставляют, остальные отбрасывают.

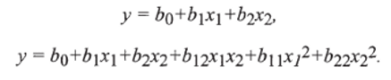
Важнейшим требованием эксперимента является управляемость факторов, а экспериментатор должен иметь возможность выбрать нужное значение фактора и поддерживать его постоянным на протяжении всего эксперимента. Фактор также должен быть операциональным, чтобы его можно было указать последовательностью операций, необходимых для задания того или иного значения.

Формализуя условия проведения эксперимента, важно также определиться с областью его проведения. Для этого необходимо оценить границы областей определения факторов. Здесь возможны ограничения нескольких типов: которые не могут быть нарушены ни при каких условиях (например, температура нс может оказаться ниже абсолютного нуля); техникоэкономические ограничения (например, стоимость оборудования или продолжительность исследуемого процесса); конкретные условия процесса.

Под **моделью эксперимента**обычно понимают модель черного ящика, в которой используется функция отклика, устанавливающая зависимость между параметром оптимизации и факторами: у = *f(xyX2>* ...,Jcn).

Выбрать модель - значит выбрать вид этой функции и записать ее уравнение. Тогда останется только провести эксперимент по вычислению численных коэффициентов данной модели. Главное требование к модели эксперимента - способность предсказывать дальнейшее направление опытов с требуемой точностью. Среди всех возможных адекватных моделей необходимо выбирать ту, которая представляется наиболее простой.

Наиболее часто в планировании эксперимента выбирают полиномиальные модели первой (линейный) или второй степени:



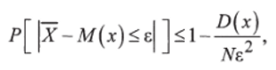
**Методика проведения эксперимента**- ключевая часть плана эксперимента. Она включает:

* - последовательность действий исследователя;
* - основные приемы и правила осуществления каждого этапа, использование приборов и оборудования;
* - порядок измерения, фиксации результатов и методы их обработки;
* - порядок анализа результатов эксперимента и формулирования выводов.

При разработке методики важно правильно обосновать количество опытов,

которое гарантирует требуемую точность результата, а с другой стороны - не ведет к неоправда!тому перерасходу средств и времени на избыточные испытания.

При более чем десяти испытаниях **обоснование количества опытов**может быть осуществлено на основе неравенства Чебышева:



где *X* - среднее значение случайно измеряемой величины; *М{х)* - математическое ожидание величины; е - требуемая точность результата; *D(x) -* дисперсия величины *х,* рассчитанная по результатам *N* проведенных опытов.

Неравенство можно сформулировать следующим образом: «вероятность того, что разность между математическим ожиданием и среднестатистическим значением случайной величины *X* не превысит требуемую точность результата - е, равна разности между единицей и отношением *D(x): Ne*2».

В неравенстве три неизвестных: *N* и статистические характеристики, зависящие от *N.* Поэтому процесс расчета *N* является итеративным.

Если неравенство выполняется, то количество опытов достаточно. В противном случае количество опытов увеличивается.

Достаточное количество наблюдений (опытов) может быть определено при помощи таблицы достаточно больших чисел (табл. 8.1). Она показывает, что достаточное количество наблюдений зависит от степени уверенности в результатах эксперимента (доверительной вероятности), величины допустимой ошибки (доверительного интервала). Иными словами, степень уверенности определяется величиной вероятности, с которой делается соответствующее заключение [33].

Относительно выбора величины вероятности *Р* нет какого-либо общего решения, одинакового при всех исследованиях. Чем ближе к единице будет величина рассматриваемой вероятности, тем надежнее будет заключение. В практике научных исследований доверительная вероятность обычно принимается *Р =* 0,9-0,99. Требуемая точность при исследованиях устанавливается в зависимости от природы изучаемого явления. В большинстве случаев требуемая точность принимается равной е = 0,01-0,05.

Например, если величина доверительной вероятности принята равной *Р* = 0,95, а допустимая ошибка равна е = 0,05, то достаточное число наблюдений в ходе эксперимента будет равно 384.

Другой важной составляющей плана эксперимента является **обоснование средств**и методики измерений. Она предполагает выбор измерительных приборов, аппаратуры и оборудования, позволяет фиксировать данные эксперимента; преобразовывать их к удобному виду; хранить, обеспечивать выдачу по запросам и т. п.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *р* | е | | | | | | | | | |
| 0,10 | 0,09 | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,01 |
| 0,75 | 33 | 40 | 51 | 67 | 91 | 132 | 206 | 367 | 827 | 3308 |
| 0,80 | 41 | 50 | 64 | 83 | 114 | 164 | 256 | 456 | 1026 | 4105 |
| 0,85 | 51 | 63 | 80 | 105 | 143 | 207 | 323 | 575 | 1295 | 5180 |
| 0,90 | 67 | 83 | 105 | 138 | 187 | 270 | 422 | 751 | 1690 | 6763 |
| 0,91 | 71 | 88 | 112 | 146 | 199 | 287 | 449 | 798 | 1796 | 7185 |
| 0,92 | 76 | 94 | 119 | 156 | 212 | 306 | 478 | 851 | 1915 | 7662 |
| 0,93 | 82 | 101 | 128 | 167 | 227 | 328 | 512 | 911 | 2051 | 8207 |
| 0,94 | 88 | 109 | 138 | 180 | 245 | 353 | 552 | 982 | 2210 | 8843 |
| 0,95 | 96 | 118 | 150 | 195 | 266 | 384 | 600 | 1067 | 2400 | 9603 |
| 0,96 | 105 | 130 | 164 | 215 | 292 | 421 | 659 | 1171 | 2636 | 10544 |
| 0,965 | 111 | 137 | 173 | 226 | 308 | 444 | 694 | 1234 | 2778 | 11112 |
| 0,970 | 117 | 145 | 183 | 240 | 327 | 470 | 735 | 1308 | 2943 | 11773 |
| 0,975 | 125 | 155 | 196 | 256 | 348 | 502 | 784 | 1395 | 3139 | 12559 |
| 0,980 | 135 | 167 | 211 | 276 | 375 | 541 | 845 | 1503 | 3382 | 13529 |
| 0,985 | 147 | 182 | 231 | 301 | 410 | 591 | 924 | 1643 | 3697 | 14791 |
| 0,990 | 165 | 204 | 259 | 338 | 460 | 663 | 1036 | 1843 | 4146 | 16587 |
| 0,991 | 170 | 210 | 266 | 348 | 473 | 682 | 1066 | 1895 | 4264 | 17057 |
| 0,992 | 175 | 217 | 274 | 358 | 488 | 703 | 1098 | 1953 | 4395 | 17583 |
| 0,993 | 181 | 224 | 284 | 371 | 505 | 727 | 1136 | 2020 | 4545 | 18182 |
| 0,994 | 188 | 233 | 294 | 385 | 524 | 755 | 1179 | 2097 | 4718 | 18875 |
| 0,995 | 196 | 243 | 307 | 402 | 547 | 787 | 1231 | 2188 | 4924 | 19698 |
| 0,996 | 207 | 255 | 323 | 422 | 575 | 828 | 1294 | 2301 | 5177 | 20409 |
| 0,997 | 220 | 271 | 344 | 449 | 611 | 880 | 1376 | 2446 | 5504 | 22018 |
| 0,998 | 238 | 294 | 373 | 487 | 663 | 954 | 1492 | 2652 | 5968 | 23873 |
| 0,999 | 270 | 334 | 422 | 552 | 751 | 1082 | 1691 | 3007 | 6767 | 27069 |

Система измерений должна формироваться с учетом требований метрологии науки о методах и средствах измерений, выборе единиц, шкал и систем измерений; проблемах точности измерений. Методы измерений, которые могут быть применены в различных экспериментах, рассмотрены в предыдущей главе.

Эти методы измерения могут быть сведены в две группы: прямых (искомая величина измеряется непосредственно в ходе эксперимента) и косвенных измерений (искомая величина, полученная на основе результатов прямых измерений). Кроме того, по признаку единиц измерений различают абсолютные измерения, проводимые в единицах исследуемой величины, и относигельные измерения, предполагающие фиксацию отношения измеряемой величины к ее некоторому предельному значению.

Рассмотренные основы организации и проведения эксперимента носят лишь обзорный характер, а сущность, содержание, условия применения вышеизложенных рекомендаций и последовательность использования того или иного метода проведения эксперимента требуют более детального изучения. Кроме того, следует четко понимать, что каждый метод проведения эксперимента будет иметь и свои особенности в зависимости от объекта исследования.