

ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Задание для ГП-17

08.12.2020

Ссылка для подключения в сервисе BigBlueButton:

<http://disrm1.zabgu.ru/b/dcd-g6q-a7r>

Начало подключения — 11 час.50 мин.

1) Ознакомиться с практическим занятием №8 «Элементы планирования эксперимента».

Сделать письменный конспект практического занятия.

Практическое занятие №8

Элементы планирования эксперимента

Планирование эксперимента — комплекс мероприятий, направленных на эффективную постановку опытов. Основная цель планирования эксперимента — достижение максимальной точности измерений при минимальном количестве проведенных опытов и сохранении статистической достоверности результатов.

Этапы планирования эксперимента

Методы планирования эксперимента позволяют минимизировать число необходимых испытаний, установить рациональный порядок и условия проведения исследований в зависимости от их вида и требуемой точности результатов. Если же по каким-либо причинам число испытаний уже ограничено, то методы дают оценку точности, с которой в этом случае будут получены результаты. Методы учитывают случайный характер рассеяния свойств испытываемых объектов и характеристик используемого оборудования. Они базируются на методах теории вероятности и математической статистики.

Планирование эксперимента включает ряд этапов.

1. Установление цели эксперимента (определение характеристик, свойств и т.п.) и его вида (определятельные, контрольные, сравнительные, исследовательские).

2. Уточнение условий проведения эксперимента (имеющееся или доступное оборудование, сроки работ, финансовые ресурсы, численность и кадровый состав работников и т. п.). Выбор вида испытаний (нормальные,

ускоренные, сокращенные в условиях лаборатории, на стенде, полигонные, натурные или эксплуатационные).

3. Выявление и выбор входных и выходных параметров на основе сбора и анализа предварительной (априорной) информации. Входные параметры (факторы) могут быть детерминированными, то есть регистрируемыми и управляемыми (зависимыми от наблюдателя), и случайными, то есть регистрируемыми, но неуправляемыми. Наряду с ними на состояние исследуемого объекта могут оказывать влияние нерегистрируемые и неуправляемые параметры, которые вносят систематическую или случайную погрешность в результаты измерений. Это — ошибки измерительного оборудования, изменение свойств исследуемого объекта в период эксперимента, например, из-за старения материала или его износа, воздействие персонала и т. д.

4. Установление потребной точности результатов измерений (выходных параметров), области возможного изменения входных параметров, уточнение видов воздействий. Выбирается вид образцов или исследуемых объектов, учитывая степень их соответствия реальному изделию по состоянию, устройству, форме, размерам и другим характеристикам.

На назначение степени точности влияют условия изготовления и эксплуатации объекта, при создании которого будут использоваться эти экспериментальные данные. Условия изготовления, то есть возможности производства, ограничивают наивысшую реально достижимую точность. Условия эксплуатации, то есть условия обеспечения нормальной работы объекта, определяют минимальные требования к точности.

Точность экспериментальных данных также существенно зависит от объема (числа) испытаний — чем испытаний больше, тем (при тех же условиях) выше достоверность результатов.

Для ряда случаев (при небольшом числе факторов и известном законе их распределения) можно заранее рассчитать минимально необходимое число испытаний, проведение которых позволит получить результаты с требуемой точностью.

5. Составление плана и проведение эксперимента — количество и порядок испытаний, способ сбора, хранения и документирования данных.

Порядок проведения испытаний важен, если входные параметры (факторы) при исследовании одного и того же объекта в течение одного опыта принимают разные значения. Например, при испытании на усталость при ступенчатом изменении уровня нагрузки предел выносливости зависит от последовательности нагружения, так как по-разному идет накопление повреждений, и, следовательно, будет разная величина предела выносливости.

В ряде случаев, когда систематически действующие параметры сложно учесть и проконтролировать, их преобразуют в случайные, специально предусматривая случайный порядок проведения испытаний (рандомизация эксперимента). Это позволяет применять к анализу результатов методы математической теории статистики.

Порядок испытаний также важен в процессе поисковых исследований: в зависимости от выбранной последовательности действий при экспериментальном поиске оптимального соотношения параметров объекта или какого-

то процесса может потребоваться больше или меньше опытов. Эти экспериментальные задачи подобны математическим задачам численного поиска оптимальных решений. Наиболее хорошо разработаны методы одномерного поиска (однофакторные однокритериальные задачи), такие как метод Фибоначчи, метод золотого сечения.

6. Статистическая обработка результатов эксперимента, построение математической модели поведения исследуемых характеристик.

Необходимость обработки вызвана тем, что выборочный анализ отдельных данных, вне связи с остальными результатами, или же некорректная их обработка могут не только снизить ценность практических рекомендаций, но и привести к ошибочным выводам. Обработка результатов включает:

- определение доверительного интервала среднего значения и дисперсии (или среднего квадратичного отклонения) величин выходных параметров (экспериментальных данных) для заданной статистической надежности;
- проверка на отсутствие ошибочных значений (выбросов), с целью исключения сомнительных результатов из дальнейшего анализа. Проводится на соответствие одному из специальных критериев, выбор которого зависит от закона распределения случайной величины и вида выброса;
- проверка соответствия опытных данных ранее априорно введенному закону распределения. В зависимости от этого подтверждаются выбранный план эксперимента и методы обработки результатов, уточняется выбор математической модели.

Построение математической модели выполняется в случаях, когда должны быть получены количественные характеристики взаимосвязанных входных и выходных исследуемых параметров. Это — задачи аппроксимации, то есть выбора математической зависимости, наилучшим образом соответствующей экспериментальным данным. Для этих целей применяют регрессионные модели, которые основаны на разложении искомой функции в ряд с удержанием одного (линейная зависимость, линия регрессии) или нескольких (нелинейные зависимости) членов разложения (ряды Фурье, Тейлора). Одним из методов подбора линии регрессии является широко распространенный метод наименьших квадратов.

Для оценки степени взаимосвязанности факторов или выходных параметров проводят корреляционный анализ результатов испытаний. В качестве меры взаимосвязанности используют коэффициент корреляции: для независимых или нелинейно зависимых случайных величин он равен или близок к нулю, а его близость к единице свидетельствует о полной взаимосвязанности величин и наличии между ними линейной зависимости. При обработке или использовании экспериментальных данных, представленных в табличном виде, возникает потребность получения промежуточных значений. Для этого применяют методы линейной и нелинейной (полиномиальной) интерполяции (определение промежуточных значений) и экстраполяции (определение значений, лежащих вне интервала изменения данных).

7. Объяснение полученных результатов и формулирование рекомендаций по их использованию, уточнению методики проведения эксперимента.

Снижение трудоемкости и сокращение сроков испытаний достигается применением автоматизированных экспериментальных комплексов. Такой комплекс включает испытательные стенды с автоматизированной установкой режимов (позволяет имитировать реальные режимы работы), автоматически обрабатывает результаты, ведет статистический анализ и документирует исследования. Но велика и ответственность инженера в этих исследованиях: четко поставленные цели испытаний и правильно принятое решение позволяют точно найти слабое место изделия, сократить затраты на доводку и итерационность процесса проектирования.

Математическая теория эксперимента определяет условия оптимального проведения исследования, в том числе и при неполном знании физической сущности явления. Для этого используются математические методы при подготовке и проведении опытов, что позволяет исследовать и оптимизировать сложные системы и процессы, обеспечивать высокую эффективность эксперимента и точность определения исследуемых факторов.

Эксперименты обычно ставятся небольшими сериями по заранее согласованному алгоритму.

После каждой небольшой серии опытов производится обработка результатов наблюдений и принимается строго обоснованное решение о том, что делать дальше.

При использовании методов математического планирования эксперимента возможно:

решать различные вопросы, связанные с изучением сложных процессов и явлений;

проводить эксперимент с целью адаптации технологического процесса к изменяющимся оптимальным условиям его протекания и обеспечивать таким образом высокую эффективность его осуществления и др.

Теория математического эксперимента содержит ряд концепций, которые обеспечивают успешную реализацию задач исследования:

концепция рандомизации рандомизация (англ. random выбранный наугад, случайный) процедура случайного выбора элементов статистической совокупности при проведении выборочного исследования);

концепция последовательного эксперимента;

концепция математического моделирования;

концепция оптимального использования факторного пространства и ряд других.

Принцип рандомизации заключается в том, что в план эксперимента вводят элемент случайности. Для этого план эксперимента составляется таким образом, чтобы те систематические факторы, которые трудно поддаются контролю, учитывались статистически и затем исключались в исследованиях как систематические ошибки.

При последовательном проведении эксперимент выполняется не одновременно, а поэтапно, с тем, чтобы результаты каждого этапа анализировать и принимать решение о целесообразности проведения дальнейших исследо-

ваний. В результате эксперимента получают уравнение регрессии, которое часто называют моделью процесса.

Для конкретных случаев математическая модель создается исходя из целевой направленности процесса и задач исследования, с учетом требуемой точности решения и достоверности исходных данных.

В настоящее время изданы каталоги планов эксперимента, в которых приводятся сравнительная оценка планов и рекомендации по их выбору применительно к конкретным условиям эксперимента.

Важное место в теории планирования эксперимента занимают вопросы оптимизации исследуемых процессов, свойств многокомпонентных систем или других объектов.

Как правило, нельзя найти такое сочетание значений влияющих факторов, при котором одновременно достигается экстремум всех функций отклика. Поэтому в большинстве случаев за критерий оптимальности выбирают лишь одну из переменных состояния - функцию отклика, характеризующую процесс, а остальные принимают приемлемыми для данного случая.

Методы планирования эксперимента в настоящее время быстро развиваются, чему способствует возможность широкого использования ЭВМ.

Вычислительным экспериментом называется методология и технология исследований, основанные на применении прикладной математики и электронно-вычислительных машин как технической базы при использовании математических моделей.

Таким образом, вычислительный эксперимент основывается на создании математических моделей изучаемых объектов, которые формируются с помощью некоторой особой математической структуры, способной отражать свойства объекта, проявляемые им в различных экспериментальных условиях.

Однако эти математические структуры превращаются в модели лишь тогда, когда элементам структуры дается физическая интерпретация, когда устанавливается соотношение между параметрами математической структуры и экспериментально определенными свойствами объекта, когда характеристики элементов модели и самой модели в целом находят соответствие свойствам объекта.

Таким образом, математические структуры вместе с описанием соответствия экспериментально обнаруженным свойствам объекта и являются моделью изучаемого объекта, отражая в математической, символической (знаковой) форме объективно существующие в природе зависимости, связи и законы.

Каждый вычислительный эксперимент основывается как на математической модели, так и на приемах вычислительной математики. Современная вычислительная математика состоит из многих разделов развивающихся вместе с развитием электронно-вычислительной техники.

На основе математического моделирования и методов вычислительной математики создались теория и практика вычислительного эксперимента, технологический цикл которого принято разделять на следующие этапы.

1. Для исследуемого объекта строится модель, обычно сначала физическая, фиксирующая разделение всех действующих и рассматриваемом явлении факторов на главные и второстепенные, которые на данном этапе исследования отбрасываются.

Одновременно формулируются допущения и условия применимости модели, границы, в которых будут справедливы полученные результаты. Модель записывается в математических терминах, как правило, в виде дифференциальных или интегродифференциальных уравнений.

2. Разрабатывается метод расчета сформулированной математической задачи. Эта задача представляется в виде совокупности алгебраических формул, по которым должны вестись вычисления и условия, показывающие последовательность применения этих формул; набор этих формул и условий носит название вычислительного алгоритма.

Вычислительный эксперимент имеет многовариантный характер, так как решения поставленных задач часто зависят от многочисленных входных параметров. Тем не менее каждый конкретный расчет в вычислительном эксперименте проводится при фиксированных значениях всех параметров.

Между тем в результате такого эксперимента часто ставится задача определения оптимального набора параметров. Поэтому при создании оптимальной установки приходится проводить большое число расчетов однотипных вариантов задачи, отличающихся значением некоторых параметров. В связи с этим при организации вычислительного эксперимента можно использовать эффективные численные методы.

3. Разрабатываются алгоритм и программа решения задачи на ЭВМ. Программирование решений определяется теперь не только искусством и опытом исполнителя, а перерастает в самостоятельную науку со своими принципиальными подходами.

4. Проведение расчетов на ЭВМ. Результат получается в виде некоторой цифровой информации, которую далее необходимо будет расшифровать. Точность информации определяется при вычислительном эксперименте достоверностью модели, положенной в основу эксперимента, правильностью алгоритмов и программ (проводятся предварительные «тестовые» испытания).

5. Обработка результатов расчетов, их анализ и выводы. На этом этапе могут возникнуть необходимость уточнения математической модели (усложнения или, наоборот, упрощения), предложения по созданию упрощенных инженерных способов решения и формул, дающих возможности получить необходимую информацию более простым способом.

Вычислительный эксперимент приобретает исключительное значение в тех случаях, когда натурные эксперименты и построение физической модели оказываются невозможными.

В науке и технике известно немало областей, в которых вычислительный эксперимент оказывается единственно возможным при исследовании сложных систем.