КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АЛЬ-ФАРАБИ

Зарипова Ю.А.

МЕТОДЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сборник лекций для студентов по направлению подготовки
«Физические и химические науки»

Алматы

СОДЕРЖАНИЕ

Лекция 1. Понятие науки. Классификация наук.

Лекция 2. Природа научного познания: чувственное и рациональное знание.

Лекция 3. Сущность методологии исследования.

Лекция 4. Научные методы познания в исследованиях.

Лекция 5. Методы эмпирического исследования.

Лекция 6. Методы теоретического исследования.

Лекция 7. Основные методы поиска информации для научного исследования.

Лекция 8. Методы обработки результатов экспериментальных исследований.

Лекция 9. Методы графической обработки результатов измерений.

Лекция 10. Основы научной этики.

Лекция 11. Особенности научной деятельности. Роль и место инноваций в современных научных исследованиях.

Лекция 8. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Цель лекции: познакомить обучающихся с основными методами обработки и анализа результатов экспериментальных исследований, оценкой погрешностей и проверкой достоверности полученных данных.

Введение: Эксперимент – фундамент физики и важнейший инструмент познания природы. Именно с его помощью проверяются гипотезы, открываются законы и уточняются теоретические модели. Однако результаты измерений никогда не бывают абсолютно точными, поскольку на них влияют случайные и систематические погрешности. Поэтому обработка экспериментальных данных – не вспомогательная, а необходимая часть любого научного исследования. Она позволяет:

- отличить случайные отклонения от закономерностей;

- оценить точность полученных величин;

- сравнить экспериментальные результаты с теоретическими предсказаниями.

Правильная организация эксперимента и последующая статистическая обработка данных обеспечивают достоверность выводов и делают эксперимент надежным источником научного знания.

Основная часть:

Основные этапы анализа данных приведены на рисунке.



Структуры данных:

- Одномерные наборы данных (одна переменная) содержат только один признак, зарегистрированный для каждой элементарной единицы.

- Двумерные наборы данных содержат информацию о двух признаках для каждого из объектов. В дополнение к обобщению свойств каждой из этих двух переменных, рассматриваемых как отдельные наборы одномерных данных.

- Наборы многомерных данных содержат информацию о трех свойств каждой из или более признаках для каждого объекта. В дополнение к обобщению этих переменных (рассматриваемых как отдельные наборы одномерных данных) и установлению зависимости между парами переменных (как при анализе набора двумерных данных).

Для начала давайте дадим определению эксперимента и его цели. ЭКСПЕРИМЕНТ - целенаправленное наблюдение, воспроизведение объекта познания, опыт, организация особых условий его существования, проверка предсказания. В это понятие вкладывается научная постановка опытов и наблюдение исследуемого явления в точно учитываемых условиях, позволяющих следить за ходом его развития и воссоздавать его каждый раз при повторении этих условий.

Цель эксперимента – выявление свойств исследуемых объектов, проверка справедливости гипотез и на этой основе широкое и глубокое изучение темы научного исследования. Эксперименты, которые проводятся в различных отраслях науки, являются отраслевыми и имеют соответствующие названия: физические, химические, биологические, социальные, психологические, и т.п.



Рассмотрим каждый тип отдельно. Эксперименты по целям исследования:

- Констатирующий эксперимент используется для проверки определенных предположений. Где констатируется наличие определенной связи между воздействием на объект исследования и результатом, выявляется наличие определенных фактов.
- Преобразующий, или созидательный, эксперимент предполагает активное изменение структуры и функций объекта исследования в соответствии с выдвинутой гипотезой, формирование новых связей и отношений между компонентами объекта или между исследуемым объектом и другими объектами.
- Поисковый эксперимент проводится в том случае, если затруднена классификация факторов, влияющих на изучаемое явление вследствие отсутствия достаточных предварительных (априорных) данных. По результатам поискового эксперимента устанавливается значимость факторов, осуществляется отсеивание незначимых.

По способу формирования:

- Естественный эксперимент предполагает проведение опытов в естественных условиях существования объекта исследования (чаще всего используется в биологических, социальных, педагогических и психологических науках).
- Искусственный эксперимент предполагает формирование искусственных условий (широко применяется в технических и естественных науках).

По структуре изучаемых объектов:

- Простой эксперимент используется для изучения объектов, не имеющих разветвленной структуры, с небольшим количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, выполняющих простейшие функции.
- В сложном эксперименте изучаются явления или объекты с разветвленной структурой и большим количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, выполняющих сложные функции.

По организации проведения:

- Лабораторный эксперимент проводится в лабораторных условиях с применением специальных моделирующих установок, типовых приборов, стендов, оборудования и т.д. Чаще всего в лабораторном эксперименте изучается не сам объект, а его образец (модель).
- Натурный эксперимент проводится в естественных условиях и на реальных объектах. Этот вид эксперимента часто используется в процессе натурных испытаний изготовленных систем.

По характеру внешних воздействий на объект:

- Информационный эксперимент используется для изучения воздействия определенной (различной по форме и содержанию) информации на объект исследования. Чаще всего информационный эксперимент используется в биологии, психологии, социологии, кибернетике и т.п. С помощью этого эксперимента изучается изменение состояния объекта исследования под влиянием сообщаемой ему информации.
- Вещественный эксперимент предполагает изучение влияния различных вещественных факторов на состояние объекта исследования. Например, влияние различных пластифицирующих добавок на подвижность бетонной смеси, прочность бетона и т.п.
- Энергетический эксперимент используется для изучения воздействия различных видов энергии (электромагнитной, механической, тепловой и т.д.) на объект исследования. Этот тип эксперимента широко распространен в естественных науках.

По характеру взаимодействия средства экспериментального исследования с объектом исследования:

- Классический, или обычный, эксперимент – экспериментатор выступает в роли субъекта, познающего объект или предмет экспериментального исследования при помощи средств для осуществления эксперимента (приборы, инструменты, экспериментальные установки).
- Модельный эксперимент. Этот вид эксперимента в отличие от классического имеет дело с моделью исследуемого объекта. Модель входит в состав экспериментальной установки, замещая не только объект исследования, но часто и условия, в которых изучается некоторый объект.

По типу моделей, исследуемых в эксперименте:

- Мысленный эксперимент – одна из форм умственной деятельности познающего субъекта, в процессе которой структура реального эксперимента воспроизводится в воображении.
- Материальный эксперимент. В процессе этого эксперимента используются материальные, а не идеальные объекты исследования. Основное отличие материального эксперимента от мысленного в том, что реальный эксперимент представляет собой форму объективной материальной связи сознания с внешним миром, а мысленный эксперимент является специфической формой теоретической деятельности субъекта.

По числу варьируемых факторов:

- Однофакторный эксперимент предполагает:

– выделение особо значимых факторов;

– поочередное варьирование факторов, интересующих исследователя;

– стабилизацию мешающих факторов.

- Суть многофакторного эксперимента состоит в том, что варьируются все переменные сразу и каждый эффект оценивается по результатам всех опытов, проведенных в данной серии экспериментов.

По контролируемым величинам:

- Пассивный эксперимент предусматривает измерение только выбранных показателей (переменных, параметров) в результате наблюдения за объектом без искусственного вмешательства в его функционирование. Например, наблюдение: за числом заболеваний вообще или какой-либо определенной болезнью; скоростями движения транспортных потоков, за работоспособностью определенной группы лиц; за числом ДТП и т.п.
- Активный эксперимент связан с выбором специальных входных сигналов (факторов) и контролирует вход и выход исследуемой системы.

По характеру изучаемых объектов или явлений:

- Технологический эксперимент направлен на изучение элементов технологического процесса (продукции, оборудования, деятельности работников и т.п.) или процесса в целом.
- Социометрический эксперимент используется для измерения существующих межличностных социально-психологических отношений в малых группах с целью их последующего изменения.

Совокупность мыслительных и физических операций, размещенных в определенной последовательности, в соответствии с которой достигается цель исследования, называется методика. При разработке методики проведения эксперимента обходимо предусматривать:

– проведение предварительного целенаправленного наблюдения над изучаемым объектом или явлением с целью определения его исходных данных (выбор варьирующих факторов, гипотез);

– создание оптимальных условий, в которых возможно экспериментирование (подбор объектов для экспериментального воздействия, устранение влияния случайных факторов);

– систематическое наблюдение за ходом развития изучаемого явления и точные описания фактов;

– определение пределов измерений;

– проведение систематической регистрации измерений и оценок фактов различными способами и средствами;

– создание перекрестных воздействий, повторяющихся ситуаций, изменение условий и их характера;

– создание усложненных ситуаций с целью подтверждения или опровержения ранее полученных данных;

– переход от эмпирического изучения к логическим обобщениям, анализу и теоретической обработке полученного фактического материала.

Правильно разработанная методика экспериментального исследования предопределяет его ценность. Исследователь при выборе методики эксперимента должен удостовериться в ее практической пригодности. На проведение любого эксперимента затрачивается большое количество ресурсов, производится множество наблюдений и измерений. Важно, прежде чем приступать к проведению эксперимента, правильно и четко разработать его методологию, которая включает: как разработка плана-программы; оценка измерений и выбор средств для проведения эксперимента; математическое планирование эксперимента с одновременным проведением эксперимента.

План или программа проведения эксперимента включает:

– постановку цели и задач эксперимента;

– обоснование объема эксперимента, числа опытов;

– выбор варьируемых факторов;

– определение последовательности изменения факторов;

– порядок реализации опытов;

– выбор шага изменения факторов, задание интервалов между экспериментальными точками;

– описание проведения эксперимента;

– обоснование средств измерений;

– обоснование способов обработки и анализа результатов эксперимента.

Наблюдая и измеряя характеристики объекта, экспериментатор собирает первичный статистический материал. Дальнейшая задача состоит в такой обработке и представлении первичных данных, которые позволили бы оценить и сопоставить результаты для проверки гипотез, для выявления существенных свойств и закономерностей.

В основе методов обработки лежит предварительное упорядочение, систематизация первичных данных и вычисление их статистических характеристик. Обобщенный алгоритм подготовки данных может быть представлен следующим операциями:

а) все данные формулируются и записываются в необходимой краткой форме;

б) проводится группировка данных, то есть распределение их на однородные группы в соответствии с интересующими экспериментатора признаками;

в) устанавливаются характеристики (признаки, параметры каждой группы данных и производится подсчет абсолютного числа факторов, характеризующих группу;

г) данные внутри каждой сформированной группы располагаются в ряд (вариационный ряд) по убыванию или возрастанию признака. Определяется наибольшее и наименьшее значения признака;

д) вариационные ряды данных, полученных в номинальной или порядковой шкале, ранжируются. Интервалы группировки по рангам выбираются оптимальными (слишком крупные интервалы скрывают нюансы явлений, слишком дробные - затрудняют обработку). В результате этой операции появляются новые количественные данные;

е) проводится статистическая обработка полученных количественных данных, заключающаяся в вычислении некоторых статистических характеристик и оценок, позволяющих глубже понять особенности экспериментальных явлений;

ж) составляются наглядные материалы, отображающие полученную информацию: таблицы, графики, диаграммы, схемы и др., по которым в дальнейшем устанавливаются и анализируются связи между параметрами экспериментальных объектов.

Измерение – это процесс определения значения физической величины опытным путём с помощью средств измерений. Результат любого измерения записывают в виде:

$$x=<x>+\Delta x,$$

где $<x>$ – наиболее вероятное значение (обычно среднее арифметическое); Δx – оценка погрешности (границы, в которых с определённой вероятностью находится истинное значение). Любой результат измерения имеет смысл только вместе с указанием погрешности, так как без неё невозможно судить о его достоверности и пригодности для сравнения с другими результатами.

Классификация погрешностей измерений:

1. Систематические погрешности

Определение: отклонения, действующие одинаково при каждом измерении. Причины: неправильная градуировка прибора; методические ошибки (например, неучёт теплового расширения); влияние внешних факторов (температура, влажность, магнитное поле). Методы уменьшения: калибровка приборов; компенсационные методы; сравнение с эталоном. Систематические ошибки искажают результат во всех измерениях одинаково. Их необходимо выявлять и устранять до начала статистической обработки.

2. Случайные погрешности

Возникают из-за непостоянства условий опыта и субъективных факторов (время реакции наблюдателя, шумы, микроколебания). Их можно только оценить статистически – при многократных измерениях. Случайные ошибки можно уменьшить, увеличивая количество измерений. Их влияние усредняется, и результат становится ближе к истинному значению.

3. Грубые ошибки (промахи)

Причина – ошибка экспериментатора или сбой прибора. Такие данные исключают из обработки после анализа. Промахи не являются частью статистической выборки и должны быть исключены при предварительном анализе данных.

Статистическая обработка экспериментальных данных

Пусть произведено n измерений одной и той же величины $x_1, x_2, \dots, x_n$.

1. Среднее арифметическое (наиболее вероятное значение искомой величины)

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \mathrm{x}_i.$$

Среднее арифметическое служит оценкой истинного значения, если случайные погрешности подчиняются нормальному распределению.

2. Среднеквадратичное отклонение (показывает разброс индивидуальных измерений вокруг среднего)

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

3. Среднеквадратичная ошибка среднего (оценка погрешности среднего значения)

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Точность оценки среднего растёт как $\sqrt{n}$: вдвое больше измерений - в $\sqrt{2}$ раз точнее результат.

4. Доверительный интервал $< \mathrm{x} > \pm t_P s_{<x>}$, где t_P – коэффициент Стьюдента (зависит от уровня доверия P и числа измерений).

Например: при $P = 0{,}95$ и $n > 30$, $t_P \approx 2$. Доверительный интервал указывает диапазон, в котором с вероятностью P находится истинное значение измеряемой величины.

Обработка функциональных зависимостей

Эксперимент часто направлен на проверку зависимости вида $y = f(x)$.

1. Метод наименьших квадратов (МНК): подобрать параметры функции $f(x)$, минимизирующие

$$S = \sum_{i=1}^{n}(y_i - f(x_i))^2$$

Например, для линейной зависимости $y = ax + b$ получаем систему:

$$a = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}, \qquad b = \frac{\sum y_i - a\sum x_i}{n}$$

Метод наименьших квадратов позволяет объективно определить параметры закона, минимизируя влияние случайных отклонений.

2. Линеаризация зависимостей

Некоторые нелинейные зависимости (например, $I \sim U^2$) можно преобразовать в линейную форму (например, построить зависимость I от U^2). Преобразование нелинейной зависимости к линейному виду упрощает анализ и уменьшает вычислительные ошибки.

3. Графическая обработка данных

- Построение экспериментальных точек с указанием погрешностей.
- Аппроксимация прямой или кривой.
- Выделение наклона и пересечения с осью.

Графический метод позволяет визуально контролировать достоверность модели, выявлять выбросы и оценивать характер зависимости.

Проверка гипотез и критерии согласия

1. Критерий Стьюдента – позволяет сравнить, отличаются ли средние значения двух выборок статистически значимо. Если рассчитанное значение $t_{\text{эксп}}$ меньше табличного t_P, различия между выборками статистически незначимы.

2. Критерий Фишера – применяется для сравнения дисперсий (разбросов) двух выборок. Критерий Фишера помогает определить, совпадает ли точность двух серий экспериментов.

3. Критерий хи-квадрат (χ^2) – оценивает, насколько экспериментальное распределение совпадает с теоретическим.

$$\chi^2 = \sum \frac{(n_i - n_i^{\text{теор}})^2}{n_i^{\text{теор}}}$$

χ^2-критерий служит мерой согласия между наблюдаемыми и ожидаемыми результатами; малое значение χ^2 указывает на хорошее соответствие теории и эксперимента.

Краткий обзор современных программных средств для проведения анализа данных.

MATLAB это высокопроизводительный язык для технических расчетов. Он включает в себя вычисления, визуализацию и программирование в удобной среде, где задачи и решения выражаются в форме, близкой к математической. Типичное использование MATLAB – это:

- математические вычисления
- создание алгоритмов
- моделирование
- анализ данных, исследования и визуализация
- научная и инженерная графика
- разработка приложений, включая создание графического интерфейса/

Mathcad программное средство, среда для выполнения на компьютере разнообразных математических и технических расчетов, снабженная простым в освоении и в работе графическим интерфейсом, которая предоставляет пользователю инструменты для работы с формулами, числами, графиками и текстами. В среде Mathcad доступны более сотни операторов и логических функций, предназначенных для численного и символьного решения математических задач различной сложности и применения этих функций для анализа данных.

STATISTICA – это универсальная интегрированная система, предназначенная для статистического анализа и визуализации данных, управления базами данных и разработки пользовательских приложений, содержащая широкий набор процедур анализа для применения в научных исследованиях, технике, бизнесе, а также специальные методы добычи данных. С помощью реализованных в системе STATISTICA мощных языков программирования, снабженных специальными средствами поддержки, легко создаются законченные пользовательские решения и встраиваются в различные другие приложения или вычислительные среды.

Заключение:

Грамотная обработка экспериментальных результатов помогает отличить случайные отклонения от закономерностей, оценить точность и подтвердить или опровергнуть теоретические выводы. Выбор типа эксперимента и методов анализа определяет достоверность итогов. Современная экспериментальная практика опирается на этапы научного метода: постановку целей, планирование, проведение, статистическую обработку и интерпретацию данных. Применение статистических критериев (Стьюдента, Фишера, χ^2 и др.) обеспечивает объективность и точность результатов. Использование программных средств позволяет эффективно анализировать, моделировать и визуализировать данные, делая исследования более точными и наглядными. Таким образом, эксперимент и обработка данных — единый процесс познания. Только их сочетание позволяет перейти от наблюдения к пониманию и от гипотезы к установленному научному закону.

Контрольные вопросы:

1) Какова основная цель эксперимента и чем он отличается от наблюдения?
2) Какие существуют основные типы экспериментов по целям исследования?
3) Чем отличаются естественный и искусственный эксперименты?
4) Какие виды погрешностей измерений выделяют и каковы причины их возникновения?

5) Как вычисляются среднее арифметическое и среднеквадратичное отклонение при обработке данных?

6) Что такое доверительный интервал и какую информацию он даёт об истинном значении измеряемой величины?

7) В чём суть метода наименьших квадратов и для чего он используется?

8) Какие статистические критерии применяются для проверки гипотез и оценки согласия эксперимента с теорией?

9) Какие современные программные средства используются для анализа экспериментальных данных и каковы их основные функции?

Список использованных источников:

1. Гасанов Р.М., и др. Методология организации научных исследований. – М.: ФГУП «ЦНИИ «Центр», 2017. – 118 с.

2. Шкляр М.Ф. Основы научных исследований: учебное пособие. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2017. – 208 с.

3. Бурда А.Г. Основы научно-исследовательской деятельности. – Краснодар, 2015. – 145 с.

4. Гречников Ф.В. Основы научных исследований: учеб. пособие. – Самара: Изд-во СГАУ, 2015. – 111 с.

5. Пономарев А.Б. Методология научных исследований. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. поли техн. ун-та, 2014. – 186 с.

6. Исатаев С.И., Корзун И.Н., Аскарова А.С. и др. Механика. Общий физический практикум. Второе издание: учебное пособие. – Алматы: Қазақ университеті, 2014. – 209 с.