

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Брянский государственный аграрный университет»

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра технических систем в агробизнесе,
природообустройстве и дорожном строительстве

Дьяченко А.В.

Основы научных исследований и патентование

методические указания
для выполнения практических занятий
и самостоятельной работы
для студентов, обучающихся по направлению подготовки
23.03.02 – Наземные транспортно-технологические комплексы

Брянская область 2024

УДК 001.891:608 (076)

ББК 72:30у

Д 93

Дьяченко, А. В. Основы научных исследований и патентование: методические указания для выполнения практических занятий и самостоятельной работы для обучающихся по направлению подготовки 23.03.02 – Наземные транспортно-технологические комплексы / А. В. Дьяченко. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2024. - 117 с.

Методические указания предназначены для выполнения практических занятий и самостоятельной работы по дисциплине «Основы научных исследований и патентование» для обучающихся по направлению подготовки 23.03.02 – Наземные транспортно-технологические комплексы. Целью методических указаний является выполнение практических занятий по дисциплине студентами очной формы обучения, практических занятий и самостоятельной работы студентами заочной формы обучения.

Рецензенты: к.э.н., доцент каф. ТОЖиПП Исаев Х.М.

к.с.-х.н., доцент каф. ТСвАБПиДС Орехова Г.В.

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института Брянского государственного аграрного университета, протокол №9 от 26 апреля 2024 года.

© Брянский ГАУ, 2024

© Дьяченко А.В., 2024

Содержание

Предисловие	5
<i>Практическое занятие №1</i> Нахождение критериев подобия способом прямых подобных преобразований и методом интегральных аналогов ...	6
<i>Практическое занятие №2</i> Нахождение критериев подобия из анализа размерностей. Использование методов теорий размерностей и подобия при постановке задачи эксперимента	11
<i>Практическое занятие №3</i> Методы материального моделирования. Расчет параметров при методе эквивалентных материалов и центробежном моделировании	15
<i>Практическое занятие №4</i> Методы, средства и точность измерения экспериментальных данных. Оценка и суммирование случайной и систематической погрешностей. Определение точности измерительных приборов. Расчет поправок	22
<i>Практическое занятие №5</i> Планирование и обработка однофакторного эксперимента	52
<i>Практическое занятие №6</i> Рандомизация плана эксперимента. Построение латинских квадратов	58
<i>Практическое занятие №7</i> Планирование и обработка многофакторного эксперимента. Кодирование факторов. Составление матрицы планирования	63
<i>Практическое занятие №8</i> Оценка коэффициентов регрессии, обратный переход к физическим переменным	66

<i>Практическое занятие №9</i>	
Оценка дисперсии воспроизводимости опыта, адекватности модели и значимости коэффициентов	69
<i>Практическое занятие №10</i>	
Обработка экспериментальных данных средствами программы Excel	75
<i>Практическое занятие №11</i>	
Расчет парной корреляции	83
<i>Практическое занятие №12</i>	
Составление и обработка вариационных рядов	87
<i>Практическое занятие №13</i>	
Изучение принципов построения международной системы классификации изобретений	98
<i>Практическое занятие №14</i>	
Алгоритм проведения патентного поиска с использованием сайта fips.ru	102
<i>Практическое занятие №15</i>	
Изучение комплекта документов для подачи заявки на изобретение и полезную модель	108
<i>Практическое занятие №16</i>	
Составление описания и формулы изобретения	112
Литература.....	116

Предисловие

Задачи дисциплины «Основы научных исследований и патентование» - дать студентам необходимые знания о методологии научных исследований, об основах изобретательства и патентования в области наземных транспортно-технологических комплексов.

Данные методические указания предназначены для выполнения практических занятий и самостоятельной работы по дисциплине «Основы научных исследований и патентование» для студентов как очной, так и заочной формы.

Методические указания содержат предисловие, 16 практических занятий, список литературы. Каждое практическое занятие включает необходимое теоретическое введение, расчетные формулы и пример решения либо алгоритм действий.

Для большей наглядности в методических указаниях приводятся «скриншоты» из программы Excel и сайта <http://www.fips.ru/> - официального Интернет-сайта Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный институт промышленной собственности» (ФИПС).

Для студентов, обучающихся по очной форме обучения рабочая программа дисциплины предусматривает выполнение всех приведенных в методических указаниях практических занятий аудиторно.

Для студентов, обучающихся по заочной форме обучения рабочая программа дисциплины предусматривает выполнение части приведенных в методических указаниях практических занятий аудиторно, остальной материал выносится на самостоятельное изучение.

Практическое занятие №1

Нахождение критериев подобия способом прямых подобных преобразований и методом интегральных аналогов

1.1 Способы нахождения критериев подобия

Математическая процедура подобных преобразований имеет конечной целью нахождение критериев подобия. При этом возможны два случая:

1 случай - из уравнения (если уравнение известно). Два способа:

1 – прямых подобных преобразований.

2 – способ замещений *или* способ интегральных аналогов.

2 случай - из анализа размерностей (уравнение неизвестно).

1.2 Способ прямых подобных преобразований

Пример: Рассмотрим пример нестационарного процесса при включении колебательного контура на источник постоянного напряжения.

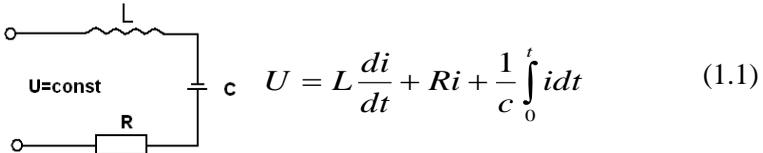


Рисунок 1.1 - Колебательный контур и его математическая модель

Уравнение подобное исходному

$$U' = L' \frac{di'}{dt'} + R' i' + \frac{1}{c'} \int_0^{t'} i' dt' \quad (1.2)$$

Зададимся масштабными коэффициентами

$$m_u = \frac{u'}{u}; \quad m_i = \frac{i'}{i}; \quad m_L = \frac{L'}{L}; \quad m_R = \frac{R'}{R}; \quad m_c = \frac{c'}{c}; \quad m_t = \frac{t'}{t} \quad (1.3)$$

На основании (3) подобные величины могут быть следующим образом выражены через исходные

$$U' = m_u U; \quad i' = m_i i; \quad L' = m_L L; \quad R' = m_R R; \quad c' = m_c c; \quad t' = m_t t \quad (1.4)$$

Подставляя значение подобных величин из (1.4) в уравнение (5.2) получаем следующее уравнение:

$$m_u = m_L L \frac{m_i}{m_t} \frac{di}{dt} + m_R m_i R i + \frac{m_i m_t}{m_c} \int_0^t \frac{tdt}{c} \quad (1.5)$$

Для обеспечения неизменности исходного уравнения (1.1), что является условием подобия необходимо, чтобы масштабные коэффициенты были одинаковыми

$$m_U = \frac{m_L m_i}{m_t} = m_R m_i = \frac{m_i m_t}{m_c} \quad (1.6)$$

Найдём индикаторы подобия путём деления комплекса масштабных коэффициентов на один из них.

$$\frac{m_U}{m_R m_i} = \frac{m_L}{m_R m_t} = \frac{m_i}{m_R m_c} = 1 \quad (1.7)$$

Заменяя в индексе подобия масштабный коэффициент в соответствии с (4) отношение величин получим попарно равенства следующих безразмерных комплексов.

$$\frac{U'}{R'i'} = \frac{U}{Ri}; \quad \frac{L'}{R't'} = \frac{L}{Rt}; \quad \frac{t'}{R'c'} = \frac{t}{Rc};$$

$$K_1 = \frac{U}{Ri} = idem; \quad K_2 = \frac{L}{Rt} = idem; \quad K_3 = \frac{t}{Rc} = idem;$$

Уравнения (1.1) и (1.3) описывает широкий класс явлений, соответствующих различным значениям U , L , R , c . Для сужения класса изучаемых явлений задаются условия однозначности. Например, это могут быть определение напряжения и крутизна нарастания тока в начальный момент времени.

$$U = U_0; \quad S_0 = \left. \frac{di}{dt} \right|_{t=0}$$

В этом случае подобные преобразования дополняются ещё и подобием условий однозначности.

$$S'_0 = \frac{di'}{dt'} = \frac{m_i}{m_t} \cdot \frac{di}{dt} = m_s S_0, \quad \text{где } m_s = \frac{m_i}{m_t}$$

Найдя индикатор подобия m_s известным способом и преобразовав его, получим следующие критерии подобия для рассматриваемого условия однозначности:

$$K_U = \frac{i'}{S'_0 t'} = \frac{i}{S_0 t} = idem ;$$

$$K_i = \frac{U_0}{Ri} = idem .$$

1.3 Способ замещения (интегральных аналогов)

Пусть дана функция y' подобная функции y так что можно записать следующее равенство

$$y' = m_y y \tag{1.8}$$

Первая производная этой функции:

$$\frac{dy'}{dx'} = \frac{dm_y y}{dm_x x} = \frac{m_y}{m_x} \cdot \frac{dy}{dx} \tag{1.9}$$

Заменяем масштабный коэффициент отношением величин:

$$\frac{dy'}{dx'} = \frac{y'/y}{x'/x} \cdot \frac{dy}{dx} \tag{1.10}$$

На основании (1.10) можно составить следующую пропорцию

$$\frac{dy'}{dx'} \div \frac{dy}{dx} = \frac{y'}{x'} \div \frac{y}{x} \tag{1.11}$$

Из (1.11) можно сделать вывод, что отношение производных, подобных между собой функций, равно отношению координат для соответствующих точек.

Следовательно, вместо производных можно рассматривать пропорциональные им их интегральные аналоги.

$$\frac{dy'}{dx'} = c_1 \frac{y'}{x'} \approx \frac{y'}{x'}; \quad \frac{dy}{dx} = c_1 \frac{y}{x} \approx \frac{y}{x}, \quad (1.12)$$

где c_1 – коэффициент пропорциональности.

Интегральный аналог для 2-го порядка

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{d \frac{dy}{dx}}{dx} \approx \frac{\frac{dy}{dx}}{dx} \approx \frac{y/x}{x} = \frac{y}{x^2} \quad (1.13)$$

По аналогии для производной n-го порядка:

$$\frac{d^n y}{dx^n} \approx \frac{y}{x^n} \quad (1.14)$$

Найдём аналог для интеграла:

$$\int y' dx' = m_y m_x \int y dx \quad (1.15)$$

Подставляя значение масштабного коэффициента, получаем следующую пропорцию:

$$\int y' dx' \div \int y dx = y' x' \div y x \quad (1.16)$$

Из (1.9) следует, что при рассмотрении подобия интегральных функций, их можно заменить аналогами в виде подынтегральных выражений без знака дифференциала.

$$\int y dx \approx y x \quad (1.17)$$

Для двойного, тройного, n-кратного интегралов аналоги будут иметь вид:

$$\begin{aligned} \iint y dx_1 dx_2 &\approx y x_1 x_2 \\ \int \dots \int y dx_1 \dots x_n &\approx y x_1 \dots x_n \end{aligned} \quad (1.18)$$

Отыскание интегральных аналогов само по себе является математическим моделированием производных и интегралов.

Комплексы из масштабных коэффициентов и критерий подобия равны между собой при любых знаковых связях между компонентами уравнения. Это безразличие может быть отображено заменой знаков «+» или «-» знаком пропорциональным.

Тогда уравнение из ранее рассмотренного примера

$$\begin{aligned}
 U &= L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{c} \int idt \\
 U &\approx L \frac{di}{dt} \approx Ri \approx \frac{1}{c} \int idt
 \end{aligned}
 \tag{1.19}$$

и подобное ему уравнение запишется в виде:

$$m_u U \approx \frac{m_l m_L}{m_i} \int \frac{di}{dt} \approx m_R m_i Ri \approx \frac{m_i m_l}{m_c} \cdot \int \frac{idt}{c}
 \tag{1.20}$$

Вышесказанное позволяет нам любое сложное и интегро-дифференциальное уравнение рассматривать как совокупность интегральных аналогов и его компонентов.

Так уравнение (1.19) символически может быть представлено в виде

$$U \approx L \frac{i}{t} \approx Ri \approx \frac{it}{c}
 \tag{1.21}$$

Если нормировать выражение (1.21) делением его на один из компонентов, например Ri получим следующие безразмерные комплексы (критерии подобия):

$$\frac{U}{Ri} \approx \frac{L}{Rt} \approx 1 \approx \frac{t}{Rc}$$

Пример: $m \frac{d^2 x}{dt^2} + K \frac{dx}{dt} + cx = F \cdot \sin \omega t$

Решение: $m \frac{d^2 x}{dt^2} \approx K \frac{dx}{dt} \approx cx \approx F \cdot \sin \omega t ;$

$$m \frac{x}{t^2} \approx K \frac{x}{t} \approx cx \approx F \cdot \sin \omega t ;$$

$$\frac{m}{ct^2} \approx \frac{k}{ct} \approx 1 \approx \frac{F}{cx} \cdot \sin \omega t \gg$$

Практическое занятие №2

Нахождение критериев подобия из анализа размерностей.

Использование методов теорий размерностей и подобия при постановке задачи эксперимента

Как правило, уравнение зависимости между исследуемыми величинами неизвестно, его только предстоит найти в процессе эксперимента. Способ нахождения критериев подобия из анализа размерностей еще называют способом нулевых размерностей.

Нахождение критериев подобия, кроме установления соответствия между моделью и оригиналом, позволяет переформулировать постановку задачи эксперимента – перевести ее в критериальную форму и, тем самым, уменьшить число параметров в задаче.

2.1 Использование методов теорий размерностей и подобия при постановке задачи эксперимента

Обычно целью эксперимента является получение математической модели объекта исследования в виде регрессионного уравнения зависимости определяемого параметра **R** от определяющих параметров **A₁, A₂,...A_n** в виде

$$R = f(A_1, A_2, \dots, A_n),$$

где n – количество определяющих параметров.

Для этого выполняют предварительный анализ поведения рассматриваемого объекта.

2.1.1 Выбор определяющих параметров

В число определяющих параметров **A₁, A₂,...A_n** включают основные характеристики объекта (размеры, массу и т.д.), характеристики внешних условий движения (ускорение свободного падения **g**, другие константы внешних условий), начальные (граничные) условия, все те

параметры, которые вошли бы в дифференциальные уравнения физических процессов в рассматриваемой системе, если бы мы взяли их таковыми составлять.

2.1.2 Анализ размерностей задачи

Определяют количество независимых размерностей в задаче g . Всего в физике шесть независимых размерностей: длины [L] (метр), времени [T] (секунда), массы [M] (килограмм), сила тока [I] (ампер), силы света [J] (свеча Кельвина), температуры [Θ] (градус Кельвина). В задачах механики обычно не рассматривают электрические, оптические и тепловые явления, поэтому в них бывает только три независимые размерности: [L], [T], [M]. Размерности остальных величин, как известно, выражаются через указанные независимые размерности.

Из n определяющих параметров можно ставить $n-g$ независимых безразмерных комплексов – определяющих критериев подобия.

2.1.3 Выбор базисных параметров

Из n определяющих параметров выбирают g базисных (первичных) U_i ($i=1,2,\dots,g$), имеющих не выражаемые друг через друга размерности

$$[U_i] = [M_i]^{\mu_i} \cdot [L_i]^{\lambda_i} \cdot [T_i]^{\tau_i} \dots,$$

где $\mu_i, \lambda_i, \tau_i, \dots$ – показатели степеней, с которыми входят в размерность i – того базисного параметра размерности массы, длины, времени и другие независимые размерности задачи.

Обычно в качестве базисных выбирают параметры с наиболее простыми размерностями, а также величины, постоянные в ходе эксперимента (например, ускорение свободного падения g). Проверить независимость размерностей базисных параметров можно, составив из показателей степени $\mu_i, \lambda_i, \tau_i, \dots$ матрицу, определитель которой не должен быть равен нулю:

$$\begin{vmatrix} \mu_1 & \lambda_1 & \tau_1 & \dots \\ \mu_2 & \lambda_2 & \tau_2 & \dots \\ \mu_3 & \lambda_3 & \tau_3 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_r & \lambda_r & \tau_r & \dots \end{vmatrix} \neq 0.$$

Например, длина объекта l (м), его масса m (кг) и ускорение свободного падения g (м/с²) могут быть тремя базисными параметрами, т.к. их размерности не выражаются друг через друга (секунда не выражается через метр и килограмм).

Тогда $U_1=l$, $U_2=m$, $U_3=g$,

$$[U_1] = [M]^0 [L]^1 [T]^0;$$

$$[U_2] = [M]^1 [L]^0 [T]^0;$$

$$[U_3] = [M]^0 [L]^1 [T]^{-2};$$

$$\begin{vmatrix} \mu_1 & \lambda_1 & \tau_1 \\ \mu_2 & \lambda_2 & \tau_2 \\ \mu_3 & \lambda_3 & \tau_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -2 \end{vmatrix} \neq 0$$

2.2 Составление безразмерных комплексов методом нулевых размерностей

Для $n-r$ определяющих параметров A_k (кроме базисных) составятся безразмерные комплексы в виде:

$$\Pi_k = A_k \cdot U_1^\alpha \cdot U_2^\beta \cdot \dots \cdot U_r^\varepsilon, \quad (k=1,2,\dots,n-r),$$

где показатели степени базисных параметров $U_i = \alpha, \beta, \gamma, \dots$ - выбираются из условия, чтобы величина Π_k получалась безразмерной.

$$[\Pi_k] = [M]^0 [L]^0 [T]^0 \dots$$

Для этого выражают размерности параметров $A_k, U_1, U_2, \dots, U_r$ через $[M], [L], [T]$, а затем показатели степени одинаковых размерностей суммируют и приравнивают нулю. Полученные уравнения для показателей степени решают и получают необходимые показатели $\alpha, \beta, \gamma, \dots, \varepsilon$.

Например, используя базисные параметры из предыдущего примера l, m и g , можно построить безразмерный комплекс для мощности $A_k=N, B_T$:

$$[A_k] = N \cdot m/c = \text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^3 = [M]^1 [L]^2 [T]^{-3};$$

$$\Pi_k = \Pi_N = N \cdot m^\alpha \cdot l^\beta \cdot g^\gamma;$$

$$[\Pi_k] = [\Pi_N] = \{[M]^1 [L]^2 [T]^{-3}\} \cdot [M]^\alpha \cdot [L]^\beta \cdot \{[L]^1 [T]^{-2}\}^\gamma =$$

$$=[M]^{1+\alpha} \cdot [L]^{2+\beta+\gamma} \cdot [T]^{-3-2\gamma}.$$

Для безразмерности комплекса $\Pi_k = \Pi_N$ должны выполняться условия:

$$\begin{aligned} 1+\alpha &= 0, \\ 2+\beta+\gamma &= 0, \\ -3-2\gamma &= 0, \end{aligned}$$

откуда $\alpha = -1, \quad \beta = -1/2, \quad \gamma = -3/2.$

Безразмерный комплекс для мощности имеет вид:

$$\Pi_N = N \cdot m^{-1} \cdot l^{-1/2} \cdot g^{-3/2} = N / (m \cdot \sqrt{l} \cdot g \cdot \sqrt{g}).$$

После составления безразмерных комплексов для всех определяющих параметров A_k (кроме базисных) составляется тем же методом безразмерный комплекс для определяемого параметра R .

$$\Pi_R = R \cdot U_1^\alpha \cdot U_2^\beta \cdot U_3^\gamma \cdot \dots \cdot U_r^\epsilon.$$

Теперь целью эксперимента является получение уравнения зависимости:

$$\Pi_R = f(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{n-r}).$$

Задача эксперимента упростилась: параметры стали безразмерными, а их число уменьшилось на r . Кроме того, если для модели и реального объекта величины $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{n-r}$ равны, то и величины Π_R для них будут равны. Такие модели и реальные объекты называют физически подобными. В них физические процессы сохраняют свой характер, эффект изменения масштаба, материалов и т.д. не сказывается на их протекании. Например, если модель в ходе эксперимента не разрушилась, то и реальный подобный ей объект не разрушится в подобных условиях; если в модельном трубопроводе течение жидкости было ламинарным, то и в подобном модели реальном трубопроводе оно не будет переходить в турбулентное. Сохранение подобия является необходимым и достаточным условием переноса результатов эксперимента с модели на реальные объекты.

2.3 Анализ предполагаемых связей и вида регрессионной зависимости

Далее анализируется возможная форма зависимости определяемого параметра от каждого из определяющих параметров в отдельности

$$P_R = f(P_1), \quad P_R = f(P_2), \quad P_R = f_{n-r}(P_{n-r}).$$

При этом используют известные до эксперимента данные теории и других экспериментов.

Затем обозначают:

$$P_R = y; \quad f_1(P_1) = x_1; \quad f_2(P_2) = x_2, \dots, \quad f_{n-r}(P_{n-r}) = x_{n-r}.$$

В процессе эксперимента обычно ищут зависимость выходного параметра y от входных факторов x_1, x_2, x_3, \dots в виде полинома:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{33}x_3^2 + \dots \\ \dots + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3 + \dots,$$

где $a_0, a_1, \dots, a_{11}, \dots, a_{12}, \dots$ - постоянные коэффициенты, получаемые путём обработки результатов эксперимента методами математической статистики (регрессионного анализа).

Практическое занятие №3

Методы материального моделирования.

Расчет параметров при методе эквивалентных материалов и центробежном моделировании

3.1 Методы материального моделирования

Метод эквивалентных материалов

Первый вопрос, который исторически возник при моделировании: *правомерно ли использовать уменьшенную копию исследуемого объекта в качестве модели (достаточно ли геометрического подобия).*

Пример: при проектировании бетонного сооружения в качестве модели использовали его уменьшенную в n – раз копию из того же материала.

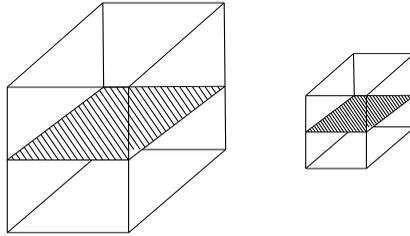


Рисунок 3.1 - Бетонные блоки: оригинал и модель

Напряжения в сечении объекта прямо пропорциональны силе тяжести и обратно пропорциональны площади поперечного сечения блока:

$$\sigma = \frac{Mg}{S}$$

Силы тяжести пропорциональны массе, которая в свою очередь пропорциональна линейному размеру в 3-ей степени:

$$M = \rho \cdot V = \rho \cdot L^3$$

Площадь поперечного сечения пропорциональна линейному размеру во 2-ой степени:

$$S = L^2$$

Масштабный коэффициент линейных размеров:

$$\frac{L}{L'} = m_L$$

Масштабные коэффициенты массы и площади:

$$\frac{M}{M'} = \frac{L^3}{L'^3} = m_L^3; \quad \frac{S}{S'} = \frac{L^2}{L'^2} = m_L^2;$$

Найдем отношение напряжений в оригинале и модели:

$$\frac{Mg}{S} = \sigma; \quad \frac{M'g}{S'} = \sigma'; \quad \frac{m_L^3}{m_L^2} \frac{\sigma}{\sigma'} = m_L; \quad \sigma \neq \sigma'; \quad \sigma = \sigma' \cdot m_L$$

Вывод. Механические напряжения будут разными. Для данной задачи геометрического подобия модели не достаточно. При соблюдении подобия геометрических размеров подобие других параметров не соблюдается.

Возвращаясь к задаче о бетонном сооружении и его модели *подобия* можно было бы достичь применив материал с большей плотностью $\rho_M = m_1 \cdot \rho$ или меньшей прочностью $[\sigma]_M = [\sigma] / m_1$.

Искусственные материалы, соответствующие механические характеристики которых в принятом геометрическом масштабе моделирования удовлетворяют по отношению к моделируемым, называют - **эквивалентными материалами**. Метод же моделирования, основанный на применении эквивалентных материалов и предложенный в 1936 г. проф. Г.Н. Кузнецовым, носит название **метода эквивалентных материалов**.

Метод эквивалентных материалов применим только при небольших масштабных коэффициентах (трудно найти в 100 раз более плотную среду). При больших масштабных коэффициентах применяют метод центробежного моделирования.

Метод центробежного моделирования

Метод центробежного моделирования состоит в том, что модель, выполненную в заданном геометрическом масштабе, помещают в центрифугу (рис. 3.2) и путем вращения нагружают инерционными силами, которые, как и силы тяжести, имеют объемный характер и придают тем самым модели некоторый *фиктивный вес*.

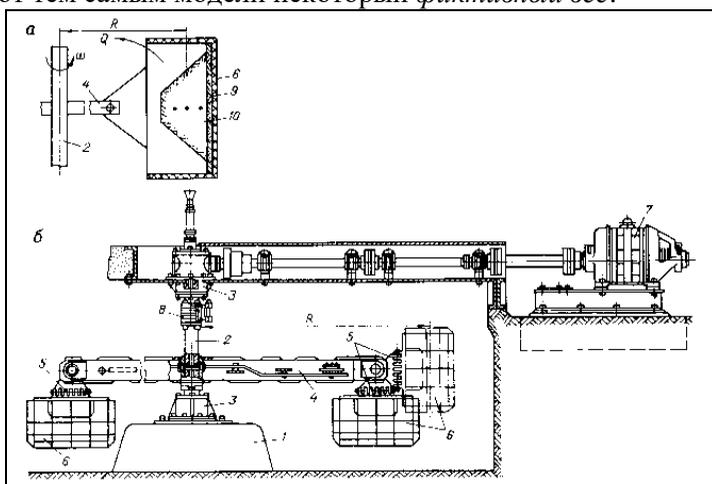


Рисунок 3.2 - Конструкция центрифуги: а - расчётная схема для определения основных параметров; б - конструктивная схема. 1 - фундамент; 2 - вертикальная ось; 3 - подшипники; 4 - коромысло; 5 - вилки для крепления подвесок; 6 - каретки; 7 - электродвигатель постоянного тока; 8 - коллектор; 9 - основание модели; 10 - модель.

При моделировании необходимо выполнение подобия критериев. Когда основная нагрузка на сооружение обусловлена действием сил тяжести, а модель изготовлена из того же материала, что и натура, этот критерий имеет вид

$$g_M l_M = g_N l_N \quad (3.1)$$

где g_N и l_N — ускорение силы тяжести и линейный размер натуре соответственно, g_M — «модельное» ускорение и l_M — линейный размер модели. Т. к. обычно модель меньше натуре, т. е. $l_M < l_N$, то для модели необходимо обеспечить условия, при которых $g_M > g_N$. Такие условия можно приближённо создать, поместив модель в центробежную машину (центрифугу). В этом и состоит идея Ц. м.

В центрифуге камера вместе с находящейся в ней моделью вращается вокруг вертикальной оси с угловой скоростью ω . При этом на каждую частицу модели действует центробежная сила, направленная от оси вращения и равная $m_m h_m \omega^2$, где m_m - масса частиц, h_m - её расстояние от оси вращения. Размеры центрифуги делают такими, чтобы расстояния h_m были велики по сравнению с размерами модели. Тогда можно приближённо принять все $h_m = h$, где h - расстояние от оси вращения центра тяжести модели, и считать действующие на частицы модели силы равными $m_k h \omega^2$, т. е. аналогичными силам тяжести $m_m g_m$, где $g_m = h \omega^2$. В результате условие (1) примет вид

$$h \omega^2 l_M = g_N l_N \text{ или } \omega^2 = g_N l_N / l_M h. \quad (3.2)$$

Отсюда определяется значение угловой скорости, при которой для модели данного размера необходимо производить центробежное моделирование (чем меньше l_M , тем больше должна быть ω).

Метод фотоупругости

В основе метода лежит эффект двойного лучепреломления в *оптически-чувствительных материалах* (целлулоид, желатин и др.) под воздействием механических напряжений.

Через модель, изготовленную из фотоупругих материалов, пропускают луч *поляризованного света* и на экране получают *поле напряжений* в виде линий разных цветов и оттенков.

Вследствие разности главных напряжений σ_1 и σ_2 возникнут не-

одинаковые в разных направлениях деформации, которые приводят в фотоупругих материалах к оптической анизотропии. Вследствие этого луч света, проходящий через напряженное прозрачное тело, будет разлагаться на два плоскополяризованных луча, колебания которых лежат в двух взаимноперпендикулярных плоскостях. При этом распространение лучей в разных плоскостях происходит с различными скоростями пропорционально разности σ_1 и σ_2 , что проявляется в виде изменения частоты колебаний оптическому сдвигу фаз и линейной разности хода.

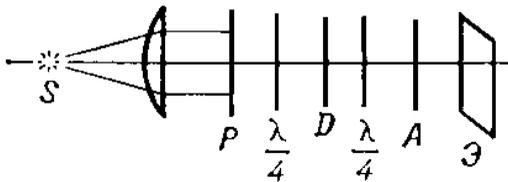


Рисунок 3.3 - Схема кругового полярископа: S - источник света, P - поляризатор; D - пластинка; $\lambda/4$ - компенсирующие пластинки; A - анализатор; Э - экран.

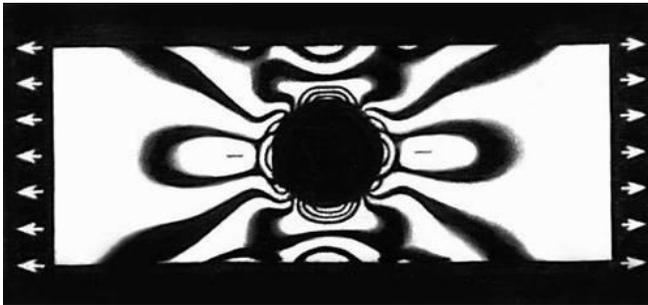


Рисунок 3.4 - Картина полос при равномерном растягивании пластинки с круглым отверстием.

Метод электрогидравлических аналогий

Метод анализа гидравлических схем, гидромашин и гидрооборудования, основанный на систематическом перенесении теории электрических схем в гидродинамику.

При этом уравнения, связывающие электрические параметры, переходят в соответствующие, всегда выполняющиеся в акустике соотношения, на основе которых можно составлять гидродинамические цепи и анализировать их теми же методами, что и электрические цепи.

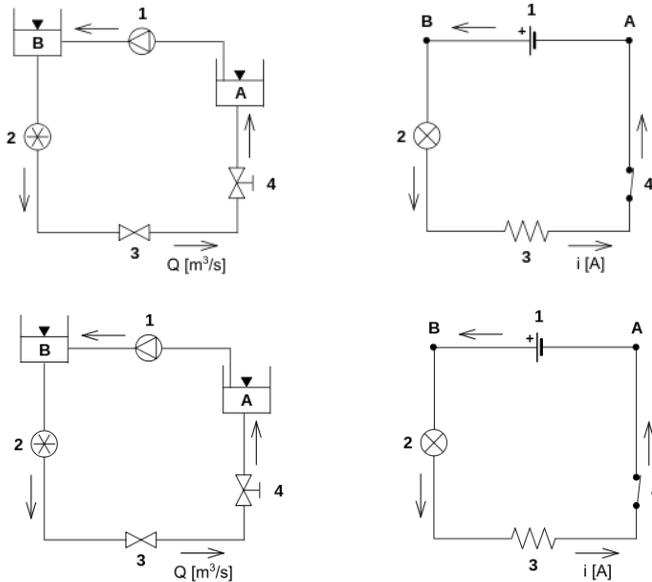


Рисунок 3.5 - Аналогия между гидравлической схемой (слева) и электрической схемой (справа).

Дифференциальные уравнения, описывающие взаимозависимость электрических параметров в длинной линии с распределенными параметрами в пренебрежении утечками через изоляцию имеют вид:

$$-\frac{\partial U}{\partial x} = L \frac{\partial I}{\partial t} + RI \quad -\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{1}{C} \frac{\partial I}{\partial x},$$

где U - напряжение;

I - сила тока;

L, R, C - соответственно индуктивность участка цепи, активное сопротивление и ёмкость;

t - время;

x - координата.

Система уравнений для потока жидкости в трубе имеет похожий вид:

$$-\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\rho_0}{S} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2a}{S} Q \quad -\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\rho_0 c^2}{S} \frac{\partial Q}{\partial x},$$

где Q - объёмный расход;
 S - площадь поперечного сечения трубы;
 P - давление;
 c - скорость звука;
 ρ_0 - плотность жидкости;
 α - параметр трения.

Уравнения для длинной электрической линии и для трубы с потоком жидкости идентичны, а их физические величины подобны друг другу.

Таблица 3.1. Аналогия гидравлических и электрических величин

Трубопроводная линия	Давление P	Расход Q	$\frac{2a}{S}$	$\frac{S}{\rho_0 c^2}$	$\frac{\rho_0}{S}$
Электрическая линия	Напряжение U	Сила тока I	Активное сопротивление R	Ёмкость C	Индуктивность L

Метод электрогидравлических аналогий получил широкое распространение во второй половине 20-го века, хотя существовал и раньше.

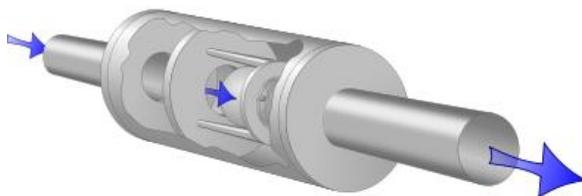


Рисунок 3.6 - Гидравлический аналог диода - обратный клапан

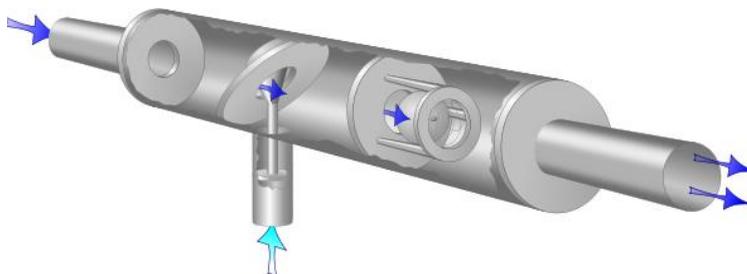


Рисунок 3.7 - Гидравлический аналог транзистора.

Практическое занятие №4

Методы, средства и точность измерения экспериментальных данных.

Оценка и суммирование случайной и систематической погрешностей. Определение точности измерительных приборов. Расчет поправок

4.1 Виды и методы измерений

Измерить какую-либо физическую величину – значит определить во сколько раз измеряемая величина больше или меньше эталонной величины той же физической природы, принятой за *единицу измерения*.

4.1.1 Виды измерений физических величин

Виды измерений можно разделить на три основные группы (вида): **прямые, косвенные и совокупные.**

Прямыми измерениями физических величин называют измерения, результат которых получается непосредственно из экспериментальных данных.

Пример: для измерения силы тока используются амперметры, напряжения - вольтметры, температуры – различные термометры и т.п.

Условно прямое измерение можно выразить соотношением

$$Y = X, \quad (4.1)$$

где Y –измеряемая величина;

X – результат измерения.

Косвенными измерениями физических величин называют такие, при которых искомые значения измеряемой величины находится из зависимости между этой величиной и величинами, определяемыми путем прямого измерения.

Пример: мощность P в цепях постоянного тока вычисляют по формуле $P = UI$, при этом напряжение U измеряют вольтметром, а величину тока I - амперметром.

В случае косвенных измерений искомая величина находится из соотношения

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n), \quad (4.2)$$

где Y – искомое значение измеряемой величины, а X_1, X_2, \dots, X_n – значения измеренных величин.

Совокупными (или совместными) измерениями физических величин называют такие, при которых искомые значения разноименных величин определяются путем решения системы уравнений, связывающей значения искомых величин с непосредственно измеренными величинами. Совокупные измерения применяются достаточно редко и используются в тех случаях, когда определяемые величины имеют нелинейные зависимости от внешних влияющих параметров (температуры, давления, времени и т.п.) [2].

По способу выражения результатов измерений **различают абсолютные и относительные измерения.**

Абсолютными называются измерения, основанные на прямых измерениях одного или нескольких значений основных величин или на использовании значений физических констант. Примером абсолютных измерений может быть измерение длины в метрах, давления в паскалях, температуры в градусах.

Относительными называются измерения отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную. Примером относительных измерений может служить измерение относительной влажности воздуха, определяемой как отношение количества водяных паров в 1 м^3 воздуха к количеству водяных паров, которое насыщает 1 м^3 воздуха при данной температуре.

4.2 Методы измерения физических величин

Методы измерения представляют собой совокупность приемов, принципов и средств измерения. В современной метрологии различают следующие основные методы.

Метод непосредственной оценки состоит в том, что измеряемая величина определяется по показанию одного (прямые измерения) или нескольких (косвенные измерения) приборов, проградуированных в

единицах измеряемой величины или других единицах, от которых зависит измеряемая величина.

К **методам сравнения** относятся все те методы измерений, где измеряемая величина сравнивается с величиной, воспроизводимой мерой.

Методы сравнения делятся на **нулевые, дифференциальные, замещения и совпадения**.

Нулевой метод – это метод сравнения измеряемой величины с мерой, когда действие измеряемой величины на индикатор компенсируется встречным действием известной величины.

Пример: измерение активного сопротивления постоянного резистора с помощью уравновешенного моста.

Дифференциальный метод, заключающийся в таком сравнении с мерой, при котором на измерительный прибор воздействует разность между измеряемой величиной и известной величиной, воспроизводимой мерой.

Пример: измерения, выполняемые при поверке мер длины сравнением с образцовой мерой на компараторе.

Метод замещения основан на сравнении с мерой, когда измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой.

Пример: взвешивание с поочередным помещением измеряемой массы и гирь на одну и ту же чашку весов.

Метод совпадений также основан на сравнении с мерой; причем разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадение отметок шкал или периодических отметок.

Пример: измерение длины штангенциркулем с нониусом или измерение частоты вращения тела стробоскопом в случае электрических измерений.

4.3 Средства измерений

4.3.1 Классификация средств измерений

Средствами измерений называются технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические свойства [5].

Мерами называются средства измерений, предназначенные для воспроизведения физической величины заданного размера.

Измерительным прибором называется средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Измерительные приборы можно разделить на следующие группы:

- **аналоговые** – измеряют непрерывную функцию;
- **цифровые** – автоматически вырабатывают дискретные сигналы измерительной информации, показания которых представлены в цифровой форме;
- **показывающие** – допускают только отсчитывание показаний;
- **регистрирующие** – предназначены для регистрации показаний;
- **самопишущие** – выполняют запись показаний в форме диаграммы;
- **печатающие** – представляют собой регистрирующие приборы, в которых показания печатаются и цифровой форме.

Приборы сравнения предназначены для непосредственного сравнения измеряемой величины с величиной, значение которой известно. В **интегрирующих приборах** измеряемая величина интегрируется по времени или по другой независимой переменной (счетчик, одометр). В **суммирующих приборах** показания функционально связаны с суммой двух или нескольких величин (ваттметр), подводимых к ним по различным каналам.

В состав измерительных приборов входят **измерительные преобразователи**, которые предназначены для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателя. Различают первичные, промежуточные и передающие измерительные преобразователи.

Первичным измерительным преобразователем называется такой, который является первым в измерительной цепи, к которому подведена измеряемая величина (датчик). Примерами первичных преобразователей могут служить термопара в цепи термоэлектрического термометра и дроссельное устройство расходомера.

Промежуточный преобразователь занимает в измерительной цепи место после первичного.

Передающий преобразователь предназначен для дистанционной передачи сигнала измерительной информации.

В зависимости от вида сигналов преобразователи делятся на преобразователи **аналогового** и **дискретного** типа. По принципу действия преобразователи бывают генераторные и параметрические. Генераторные работают без внешнего источника энергии, процесс пре-

образования в них осуществляется за счет внутренней энергии преобразователя. Для работы параметрического преобразователя необходим внешний источник энергии, чаще всего электрический. В таких преобразователях под действием входного сигнала изменяются некоторые параметры выходной цепи (сопротивления, индуктивности, емкости и др.).

Генераторные преобразователи делятся на следующие классы:

- **индукционные**, принцип действия которых основан на явлении самоиндукции; значение ЭДС самоиндукции зависит от положения подвижного элемента, которое определяется значением силы, воздействующей на вход преобразователя;

- **термоэлектрические**, информация о входной величине, которой в данном случае является температура, содержится в термоЭДС, возникающей на выходе преобразователя в результате внешнего теплового воздействия;

- **фотоэлектрические** (фотоэлементы), под действием светового потока, падающего на чувствительный электрод (катод), осуществляется эмиссия электронов, что обуславливает появление ЭДС на выходе преобразователя;

- **пьезоэлектрические**, принцип действия которых основан на явлении пьезоэффекта;

- **специальные**, к их числу относятся некоторые виды химических, биологических и других преобразователей.

К параметрическим преобразователям относятся следующие типы:

- **контактные**, выходной сигнал в которых появляется при замыкании или размыкании электрических контактов;

- **резистивные**, представляющие собой различного рода активные сопротивления, включаемые в электрическую цепь; преобразование осуществляется за счет изменения значения сопротивления под воздействием входной величины;

- **индуктивные**, в которых при воздействии входной величины изменяется индуктивность электрической цепи, содержащей преобразователь;

- **емкостные**, в которых изменяется емкость преобразователя за счет изменения размеров преобразователя (расстояния между пластинами), перекрываемой площади или диэлектрической проницаемости;

- **магнитно- и электрострикционные**, в которых происходит изменение основных физических характеристик материалов (намагниченность, электролизация);

- **радиационные и ионизационные**, преобразование в которых осуществляется на основе явлений радиации и ионизации в системе преобразователя;

- **ультразвуковые**, для осуществления процесса преобразования в которых используются различные ультразвуковые эффекты.

В измерительной технике различают еще и **измерительные установки**, представляющие собой совокупность функционально объединенных средств измерения (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей) и вспомогательных устройств, предназначенных для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем, и расположенных в одном месте.

Измерительные информационные системы - представляют собой совокупность средств измерений и вспомогательных устройств, предназначенную для автоматического сбора измерительной информации от ряда источников. Например, аппаратно-программируемые модули National Instruments LabVIEW. Интеграция среды для обработки сигналов LabVIEW и среды для разработки электронных схем Multisim позволяет проектировать и тестировать аналоговые и цифровые схемы, моделировать прототипы устройств, затем собирать прототип на реальной платформе, тестировать, а также, используя программу Ultiboard, производить разводку печатной платы. Таким образом, возникает возможность пройти весь цикл создания изделия на базе единой платформы - от моделирования до создания и тестирования прототипа устройства.

4.3.2 Частные примеры средств и способов измерения физических величин

Средства измерения деформаций, силовых воздействий и массы

Тензометрический метод является одним из наиболее распространенных методов непосредственного измерения деформаций, а по ним косвенно механических напряжений, сил, моментов. Особую роль тензометрирование играет при анализе напряженно-деформированного состояния, который необходим для решения проблем прочности конструкций в строительстве, машиностроении и других отраслях.

Тензорезисторный преобразователь (тензорезистор) представляет собой проводник (или полупроводник), изменяющий своё сопротивление при деформации сжатия-растяжения.

В настоящее время наиболее широко применяют проволочные, фольговые, плёночные и полупроводниковые тензорезисторы.

Проволочный тензорезистор имеет решётку выполненную из зигзагообразно уложенной проволоки 3 диаметром 20...50 мкм, размещённой на бумажной или плёночной основе 2. Подключение осуществляется с помощью медных проводников 4 [2].

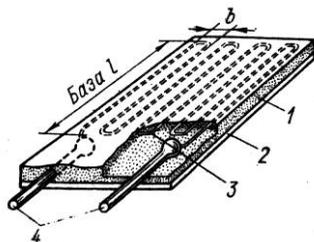


Рисунок 4.1 - Устройство проволочного тензорезистора: 1 - защитное покрытие; 2 - бумажная или плёночная основа; 3 - тензочувствительная проволока; 4 - выводы

Фольговые тензорезисторы представляют собой тонкую решётку из константана толщиной 4...12 мкм, изготовленную путём травления. Фольговые тензорезисторы имеют ряд преимуществ: нечувствительны к поперечной деформации вследствие малого сопротивления перемычек; увеличенное сечение их концов, что позволяет надёжно припаять выводы; допустимый ток в 1,4 раза больше, благодаря большей поверхности для теплоотвода.

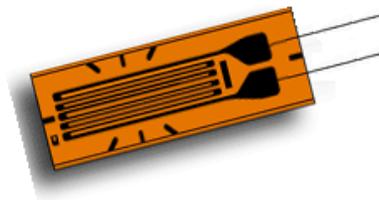
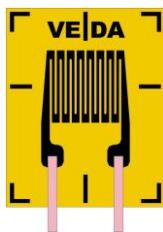


Рисунок 4.2 - Устройство фольгового тензорезистора

Полупроводниковые тензорезисторы представляют собой пластинку монокристалла кремния или германия длиной 5...10 мм, шириной 0,2...0,8 мм, выращенную на тонкой мембране из диэлектрика (например, сапфира).

Тензорезисторы приклеиваются к поверхностям деталей и испытывают одинаковые с ними деформации.

При изучении одноосного напряженного состояния (растяжения или сжатия) для полного описания поля деформаций достаточно одного тензорезистора, который наклеивается в направлении главной деформации ε_1 . В этом случае главное напряжение $\sigma_1 = E\varepsilon_1$.

В общем случае двухосного напряженного состояния, когда направления главных деформаций $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ неизвестны, поступают следующим образом, В соответствии с формулой

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2} + \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{2} \cos 2\alpha, \quad (4.3)$$

связывающей между собой $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ и α , производят три измерения ε_α по трем произвольно выбранным направлениям α_1, α_2 и α_3 . Решение полученной системы из трех уравнений даст значения и направления главных деформаций.

Измерения деформаций одновременно по трем и более направлениям производят с помощью *розеток* (рисунок 4.3) — системы из трех (или более) проволочных тензорезисторов наклеенных под определенными углами на общее основание.

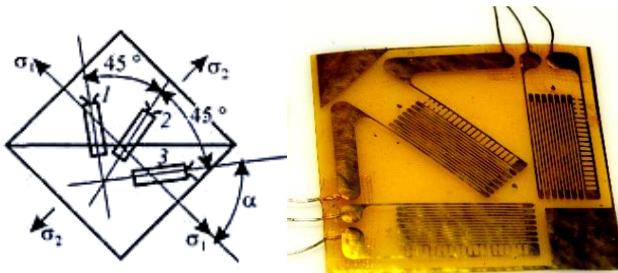


Рисунок 4.3 – Схема размещения тензодатчиков при неизвестном направлении главных напряжений и конструкция прямоугольной розетки общего назначения: тензорезисторы находятся в одной плоскости под углом 45° друг к другу

Розетка очень удобна в работе, поскольку ее легче и быстрее наклеивать на поверхность исследуемой детали, чем три отдельных датчика.

Для измерения механических напряжений и давлений часто наклеивают два тензорезистора (рисунок 4.4), которые включают в мостовую

цепь. Это вызвано необходимостью увеличения чувствительности преобразователя и температурной стабилизацией параметров цепи.

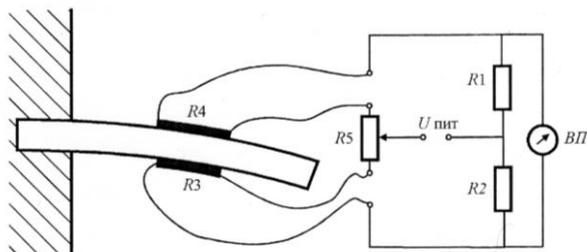


Рисунок 4.4 - Измерение деформации изгиба при помощи тензорезисторов

Крутящие моменты валов машин также измеряют при помощи тензорезисторов. Наибольшие напряжения кручения при передаче момента валом отмечаются в его сечении, расположенном под углом 45° к образующей (рисунок 4.5).

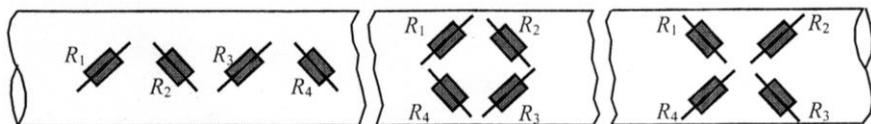


Рисунок 4.5 –Схема наклейки тензорезисторов при измерении крутящих моментов

Пьезоэлектрические преобразователи выполняются из материалов, в которых возможен пьезоэлектрический эффект.

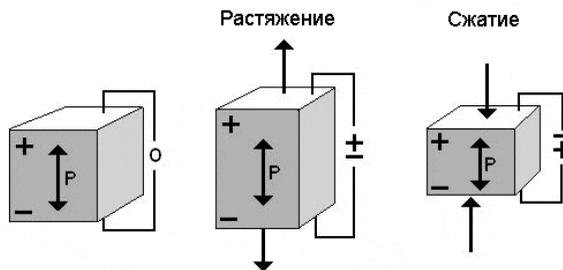


Рисунок 4.6 - Пьезоэлектрический эффект

В момент приложения механической силы на поверхности появляются электрические заряды (рисунок 4.6). Суммарный заряд пропорционален значению действующей силы, а его знак показывает направление этой силы. Напряжённость зарядов электрического поля измеряют специальными электронными устройствами.

Пьезоэлектрические датчики (рисунок 4.7) состоят из набора пластин, выполненных из материала, обладающего пьезоэффектом, и применяются для измерения динамических сил, моментов, вибраций, толчков и т.п.

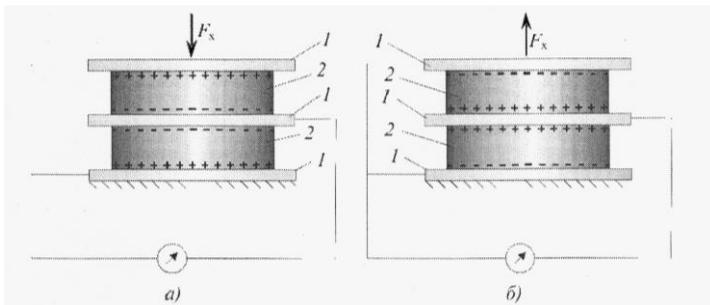


Рисунок 4.7 – Конструкция пьезоэлектрического датчика

Пьезоэлектрические преобразователи отличаются широкими рабочими частотным и динамическим диапазонами, линейными характеристиками в этих широких диапазонах, прочной конструкцией, надежностью и долговременной стабильностью параметров. Так как пьезоэлектрические акселерометры являются активными датчиками, генерирующими пропорциональный механическим колебаниям электрический сигнал, при их эксплуатации не нужен источник питания. Отсутствие движущихся элементов конструкции исключает возможность износа и гарантирует исключительную долговечность пьезоэлектрических датчиков.

Средства измерения давления

При определении величины давления принято различать давление абсолютное, атмосферное, избыточное и вакуумметрическое.

Абсолютное давление (p_a) – это давление внутри какой-либо системы, под которым находится газ, пар или жидкость, отсчитываемое от абсолютного нуля.

Атмосферное давление (p_b) создается массой воздушного столба земной атмосферы. Оно имеет переменную величину, зависящую от

высоты местности над уровнем моря, географической широты и метеорологических условий.

Избыточное давление определяется разностью между абсолютным давлением (p_a) и атмосферным давлением (p_b)

$$P_{изб} = p_a - p_b \quad (4.4)$$

По виду измеряемого давления приборы подразделяют на следующие: *манометры*, предназначенные для измерения избыточного давления; *вакуумметры*, служащие для измерения разрежения (вакуума); *мановакуумметры*, измеряющие избыточное давление и вакуум; *напоромеры*, используемые для измерения малых избыточных давлений; *тягомеры*, применяемые для измерения малых разрежений; *тягонапоромеры*, предназначенные для измерения малых давлений и разрежений; *дифференциальные манометры (дифманометры)*, с помощью которых измеряют разность давлений, ни одно из которых не равно атмосферному; *барометры*, используемые для измерения барометрического давления.

Простейшим прибором для измерения давления или разности давлений является двухтрубный (или U-образный) манометр (рисунок 8, а), представляющий собой согнутую стеклянную трубку, заполненную рабочей жидкостью (ртутью или водой) и прикрепленную к панели со шкалой. Один конец трубки соединяется с атмосферой, а другой подключается к объекту, где изменяется давление.

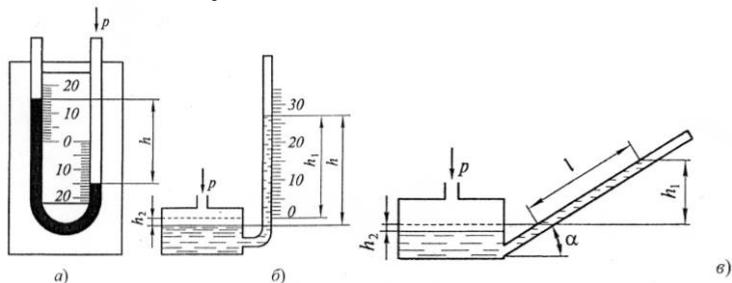


Рисунок 4.8 - Жидкостные манометры: а) U-образный; б) чашечный; в) микроманометр

Более удобным средством измерения давления является однотрубный (чашечный) манометр (рисунок 4.8, б), в котором одна из трубок заменена сосудом диаметр его, как правило, в 20 раз больше диаметра трубки. Так как соотношение диаметров или сечений трубки и сосуда

значительны, понижением уровня h_2 при изменении давления можно пренебречь и отсчёт вести только по стеклянной трубке, т.е. по h_1 .

На рисунке 4.8, в показан однотрубный микроманометр, в котором стеклянная трубка расположена под углом к горизонту. При этом точность измерения увеличивается в несколько раз.

Трубчато-пружинные приборы принадлежат к числу наиболее распространённых манометров, вакуумметров и мановакуумметров. Трубчатая пружина представляет собой тонкостенную, согнутую по дуге окружности, трубку (одно- или многовитковую) с запаянным одним концом. При увеличении или уменьшении давления внутри трубки пружина раскручивается или скручивается на определенный угол.

Тензометрические манометры имеют малые габаритные размеры, простое устройство, высокую точность и надёжность в работе. Верхний предел показаний 0,1...40 МПа, класс точности 0,6; 1 и 1,5.

На рисунке 4.9 представлено устройство пружинного и тензометрического манометров.

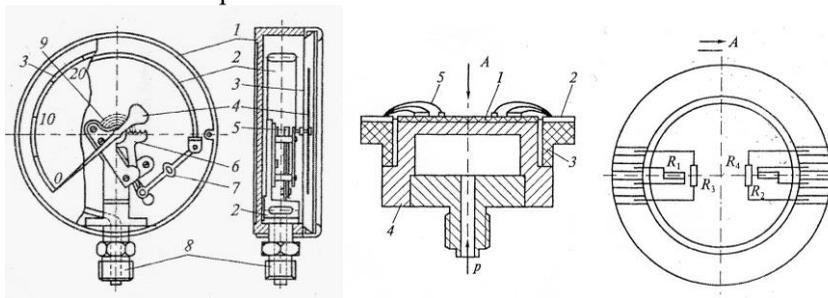


Рисунок 4.9 – Манометры: а) устройство пружинного манометра: 1 – корпус; 2 – полая трубка; 3 – шкала; 4 – стрелка; 5 – шестерня; 6 – зубчатый сектор; 7 – поводок; 8 – штуцер; 9 – пружина; б) конструкция тензометрического манометра: 1 – сапфировая пластина; 2 – сборные пластинки; 3 – кольцо из диэлектрика; 4 – корпус; 5 – выводные провода

Средства измерения температуры

Кроме спиртовых и ртутных термометров для измерения температуры в промышленности, научных исследованиях, медицине, в системах автоматики применяются **термопары**.

Термопара – пара проводников из различных материалов, соединенных на одном конце. Принцип действия основан на эффекте Зеебека или, иначе, термоэлектрическом эффекте.

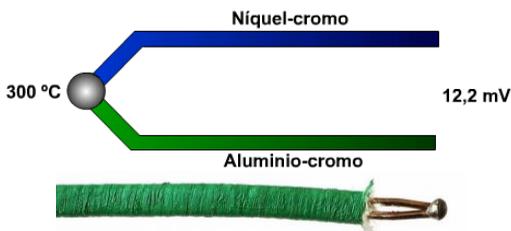


Рисунок 4.10 - Схема термопары типа К. При температуре спая проволок из хромеля и алюмеля равной 300°С и температуре свободных концов 0°С развивает термо-ЭДС 12,2 мВ.

Между соединёнными проводниками имеется контактная разность потенциалов; если стыки связанных в кольцо проводников находятся при одинаковой температуре, сумма таких разностей потенциалов равна нулю. Когда же стыки находятся при разных температурах, разность потенциалов между ними зависит от разности температур. Преимущества термопар: высокая точность измерения значений температуры (вплоть до $\pm 0,01$ °С), большой температурный диапазон измерения: от -250 °С до 2500 °С, простота, дешевизна, надежность.

Средства измерения массы

Приборы для измерения массы называют весами. Измерение массы основано на использовании закона всемирного тяготения, согласно которому гравитационное поле Земли притягивает массу с силой, пропорциональной этой массе. Силу притяжения сравнивают с известной по величине силой, создаваемой различными способами.

Классификация весов приведена на рисунке 4.11.



Рисунок 4.11 - Классификация весов

Для точных лабораторных измерений в настоящее время применяют электронно-механические (электронные) весы (рисунок 4.12).



Рисунок 4.12 - Лабораторные электронные прецизионные весы Adventurer Pro

В электромеханических весах усилие, развиваемое взвешиваемой массой, измеряется через деформацию упругого элемента с помощью тензорезисторных, индуктивных, ёмкостных и вибродатчиков преобразователей.

Средства измерения расхода жидкости и газов

Расходом вещества называют количество вещества (массы или объёма), проходящее через определённое сечение в единицу времени, а приборы или комплекты приборов, определяющие расход вещества в единицу времени, называют **расходомерами**. Расходомер может быть снабжён счётчиком (интегратором), показывающим массу или объём вещества, проходящего через прибор, за какой-либо промежуток времени.

Единицы измерения расхода могут быть объёмные – м³/ч, м³/мин, л/мин и т.д. и массовые – кг/ч, т/ч, и т.д.

Наиболее часто применяемые приборы для измерения расхода вещества, можно разделить на следующие группы.

Расходомеры переменного перепада давления, принцип действия которых основан на зависимости от расхода вещества перепада давления, создаваемого неподвижным устройством, устанавливаемым в трубопроводе. Наибольшее распространение из расходомеров переменного перепада давления получили расходомеры с сужающим устройством, работа которых основана на зависимости от расхода перепада давления, образующегося на сужающем устройстве в результате частичного перехода потенциальной энергии потока в кинетическую.

Расход вещества, соответствующий наибольшему перепаду давления ΔP (Н/м²) в сужающем устройстве, рассчитывается по формулам:

$$Q_o = \alpha F_o \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}, \text{ м}^3/\text{с}; \quad Q_m = \alpha F_o \sqrt{2\Delta P \rho}, \text{ кг/с}, \quad (4.5, 4.6)$$

где Q_o – объёмный расход; Q_m – массовый расход; α – коэффициент расхода; F_o – площадь отверстия сужающего устройства.

Расходомеры постоянного перепада давления, принцип действия которых основан на зависимости от расхода вещества вертикального перемещения тела (поплавка), изменяющего при этом площадь проходного отверстия прибора так, что перепад давления по обе стороны поплавка остаётся постоянным.

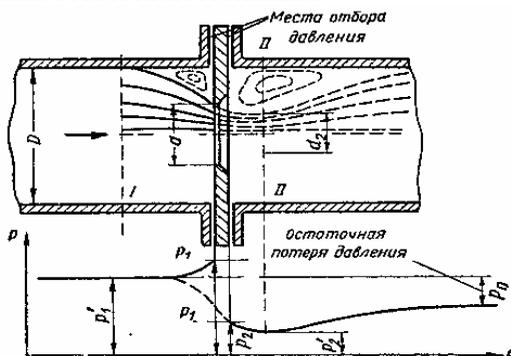


Рисунок 4.13 - Измерение расхода методом дросселирования

Электромагнитные (индукционные) расходомеры, принцип действия которых основан на измерении ЭДС, возникающей при движении электропроводной жидкости в магнитном поле.

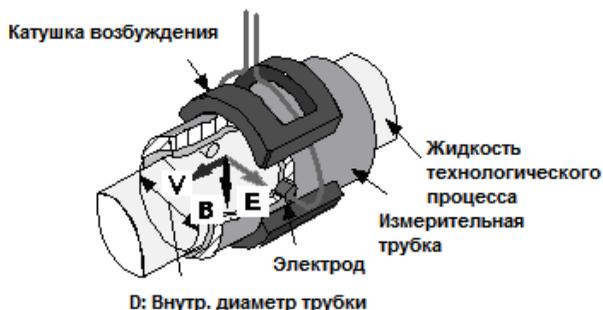


Рисунок 4.14 – Конструкция электромагнитного расходомера

Средства измерения скорости и ускорений

Средства измерений и контроля, предназначенные для измерения линейных скоростей, называются измерителями скорости, средства для измерения и контроля угловых скоростей (частоты вращения) – **тахометрами**, а средства для измерения ускорений – **акселерометрами**. Средства измерений колебательного движения (вибраций) – **виброметры и сейсмографы**.

Наиболее распространённые методы измерения линейных скоростей движущихся твёрдых тел: аэрометрический, компенсационный, термодинамический, корреляционный, доплеровский, электромагнитный, инерциальный и др. Например, *Измерители скорости*, работающие на использовании *эффекта Доплера*, имеют в своём составе радар, включающий в себя источник ультразвуковых колебаний с частотой f_0 , и приёмник ультразвуковых колебаний, отразившихся от движущегося со скоростью v объекта. Если объект приближается к радару, то частота колебаний f , отразившихся от него, будет больше первоначальной. Если наоборот, то частота будет меньше. Таким образом, по разности частот ($f - f_0$) можно узнать о скорости объекта и о направлении его движения.

Для измерения скоростей вращения применяются: центробежные, магнитоиндукционные, электрические (постоянного и переменного тока), индукционные и стробоскопические.

Электрические тахометры (рис. 4.15) включают в себя тахогенератор и гальванометр.

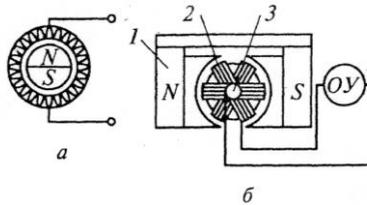


Рисунок 4.15 - Схемы электрических тахометров: *а* – тахогенератора; *б* – тахогенератора постоянного тока; *1* – постоянный магнит; *2* – обмотка якоря; *3* – коллектор со щётками; ОУ – отсчётное устройство вторичного прибора

Стробоскопический метод измерения угловой скорости основан на свойстве глаза, сохранять видимое изображение на десятые доли секунды после его исчезновения. Средства измерения, построенные по этому принципу, являются наиболее точными из рассмотренных выше.

Они нашли применение в лабораторных исследованиях, а также при создании образцовых средств измерений. Принцип реализации эффекта поясняет рисунок 4.16. Если отметку 4 на вращающемся валу 1 освещать вспышками света от источника 2, то при совпадении числа вспышек с частотой вращения отметка будет казаться неподвижной. Если эта разность будет отлична от нуля, то отметка начнёт вращаться со скоростью в ту или иную сторону, в зависимости от знака разности частоты вращения и числа вспышек. Поскольку глаз оператора 3 замечает очень медленное движение отметки, то, подбирая частоту вспышки посредством устройства регулирования вспышки УРВ, можно остановить отметку и определить частоту вращения вала.

Точность измерения определяется точностью воспроизведения и измерения частоты вспышек, точностью регистрации моментов остановки стробоскопической картины.

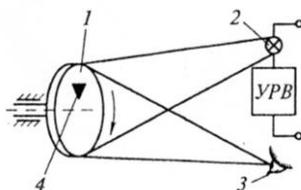


Рисунок 4.16 - Схема стробоскопического тахометра: 1 – вращающийся вал; 2 – источник света; 3 – глаз оператора; 4 – отметка; УРВ – устройство регулирования вспышки

Ускорения измеряются в метрах на секунду в квадрате (м/с^2). В качестве единицы измерения ускорения часто применяют величину, связанную с ускорением свободного падения – g . Например, ускорение, равное $0,1g$; $1,0g$ и т.д. Ускорения могут быть линейными и угловыми. Средства измерения ускорений называются **акселерометрами**.

Для измерения линейных ускорений применяются инерциальный метод, метод дифференцирования скорости и метод двукратного дифференцирования расстояния до неподвижной базы. Инерциальный метод основан на измерении силы, развиваемой инерционной массой при её движении с ускорением.

В настоящее время всё большее применение получают пьезоакселерометры. Принцип действия основан на использовании прямого пьезоэффекта. При движении инерционного элемента массой m с ускорением a возникает сила $F = ma$, которая приложена к пьезоэлементу, на гранях которого возникает ЭДС, подаваемая через электрические выводы на вторичный прибор.

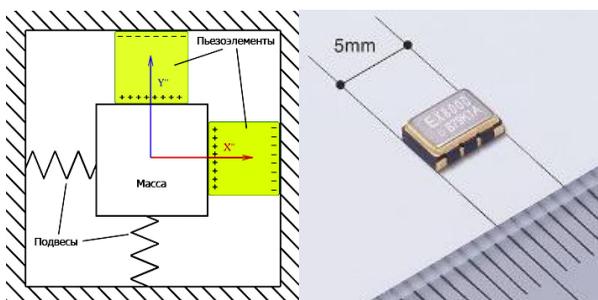


Рисунок 4.17 – Акселерометры: а) принцип работы инерциального акселерометров на пьезоэлементах; б) датчик движения

Отдаваемый акселерометром сигнал, пропорциональный ускорению, можно интегрировать с целью измерения и анализа скорости и смещения механических колебаний.

Правила подключения амперметра и вольтметра к электрическим цепям

Показания **амперметра** определяются **током** его измерительном механизме. Поэтому **амперметр** надо включать так, чтобы измеряемый ток проходил через него, т.е. последовательно (рисунок 4.18).

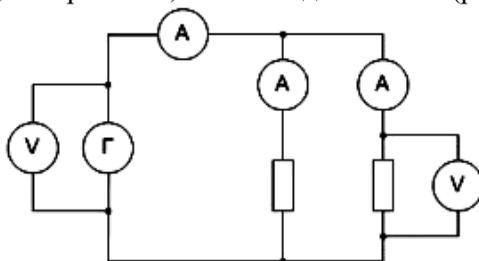


Рисунок 4.18 - Подключение амперметров и вольтметров

Включение **амперметра** не должно изменять режим работы цепи, следовательно, сопротивление его должно быть малым по сравнению с сопротивлением участка цепи.

Показания **вольтметра** определяется напряжением на его зажимах. Поэтому для измерения **напряжения** его необходимо соединять параллельно потребителю или генератору (рисунок 4.18). Сопротивление **вольтметра** должно быть большим по сравнению с сопротивлением

приемника энергии (генератора), параллельно которому он включается с тем, чтобы его включение не влияло на режим работы цепи.

4.4 Точность измерений. Определение погрешностей

Важным фактором в эксперименте является **точность измерений**, которая отражает качество измерений, определяющее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Истинное значение величин принципиально не может быть найдено ввиду погрешностей и неполноты данных. Поэтому оперируют понятием **оценки**, т.е. приблизительным значением величины, определенным по имеющимся неполным данным.

Всегда существует разница Δ_X между ее измеренным X и истинным $X_{и}$ значениями

$$\Delta_X = X - X_{и}. \quad (4.7)$$

Эта разница Δ_X называется **погрешностью измерения физической величины**.

Истинное значение физической величины в реальных условиях знать практически невозможно, поэтому в любом эксперименте при определении погрешности получения измерительной информации вместо нее используется, так называемое, действительное значение $X_{д}$ измеряемой величины X , т.е. искомую физическую величину определенную экспериментально с наивысшей точностью. Действительное значение физической величины определяется как среднее значение ряда измерений этой величины, а сам эксперимент строится так, что точность измерения определяется случайными ошибками. Так как и методика измерения и способ воспроизведения физической величины постоянно совершенствуются, то само ее значение зачастую претерпевает некоторые изменения, постепенно приближаясь к истинному значению.

4.4.1 Виды погрешностей измерения физических величин

Рассмотрим основные классификационные признаки погрешности результатов измерений.

Первый признак – что или кто является причиной ошибок? Суммарная погрешность результата любого измерения в общем случае складывается из трех составляющих: инструментальной, методической и субъективной.

Инструментальная составляющая определяется основными метрологическими характеристиками системы измерений.

Методическая составляющая погрешности результата измерений зависит от используемого метода измерения и не зависит от погрешности самого инструмента

Субъективная составляющая не зависит ни от погрешности прибора, ни от метода измерения, а в основном определяется квалификацией пользователя (субъекта). Эту погрешность не всегда можно предвидеть и заранее оценить.

Второй классификационный признак - по закономерности проявления.

Погрешности измерения физических величин Δ_x всегда содержат **систематическую и случайную составляющие**, которые существуют совместно, внося тот или иной вклад в общую величину ошибки.

Систематическая погрешность Δ_c – это составляющая общей погрешности измерения физической величины, остающаяся постоянной или закономерно изменяющейся при многократных измерениях одной и той же величины в одних и тех же условиях.

Причинами систематических ошибок могут быть: постоянная погрешность инструмента (ошибка в градуировке шкалы, эксцентриситет лимба и т.п.); методическая погрешность формулы, по которой ведется расчет или работает прибор; постоянная собственная ошибка наблюдателя влияния внешних факторов (например, температуры, давления, влажности и т.п.) и т.п.

Систематические ошибки инструментов оцениваются при тарировке и либо устраняются (если это возможно) регулировкой, либо исключаются при проведении расчетов по обработке результатов.

Влияния внешних факторов (например, температуры, давления, влажности и т.п.) может быть исключено путем введения соответствующей поправки (температурная поправка размеров, плотности, сопротивления).

Случайная погрешность $\Delta_{сл}$ – составляющая общей погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом без видимой закономерности при повторных измерениях одной и той же величины в одних и тех же условиях. Случайные ошибки измерений вызываются многочисленными факторами, малыми по своему индивидуальному влиянию на результат и не могущими быть учтенными при проведении опыта. Рассеяние результатов измерения обычно подчиняется нормальному закону Гаусса.

Случайную погрешность полностью нельзя исключить опытным путем. Случайную погрешность, в отличие от систематической, можно уменьшить до минимума путем многократных измерений одной и той же величины в одинаковых условиях.

Наиболее достоверное значение измеряемой величины, полученное на основе многократных измерений – среднее арифметическое из ряда полученных измерений

$$\bar{X} = X_{\text{cp}} = \frac{(X_1 + X_2 + \dots + X_n)}{n}, \quad (4.8)$$

где X_1, \dots, X_n – результаты отдельных измерений, а n – число измерений.

Особый вид ошибок это *грубые ошибки* (или *промахи*) - они возникают в результате невнимательности экспериментатора. Например, измеряющий неверно прочитал или записал отсчет по измерительному инструменту.

Способ устранения грубых ошибок - правильное планирование эксперимента, внимательная и аккуратная работа при его проведении. Для устранения возможности появления промаха измерения в процессе выполнения эксперимента необходимо проводить несколько раз. Грубые ошибки по своей природе резко отличаются от указанных выше основных видов ошибок, поэтому обнаруженные промахи следует всегда исключать из рассмотрения при обработке результатов измерений.

Третий классификационный признак — способ выражения погрешности. По этому признаку различают абсолютную, относительную и относительную приведенную погрешности.

Абсолютная погрешность измерений ΔX – это разница между измеренным X и истинным X_u значениями физической величины по определению

$$\Delta X = X - X_u, \quad (4.9)$$

или в реальных условиях эксперимента

$$\Delta X = X - X_d. \quad (4.10)$$

Пример: Абсолютная погрешность измерения линейного размера $\Delta L = 0,5$ мм. При измерении длины карандаша $L1 = 170$ мм, это хорошая точность измерения. При измерении диаметра карандаша $L2 = 7$ мм – точность измерения невысокая.

Относительная погрешность измерения δ – это отношение абсолютной погрешности измерения ΔX к значению измеряемой величины X .

Относительная погрешность выражается в части от измеряемой величины или в %

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_{и}} 100[\%] \approx \frac{\Delta X}{X_{д}} 100[\%]. \quad (4.11)$$

Относительная погрешность является характеристикой качества измерения.

Пример: Объект исследования тот же – карандаш длиной $L1 = 170$ мм и диаметром $L2 = 7$ мм. $\Delta L = 0,5$ мм.

Из примера видно, что при одинаковой величине абсолютной погрешности качество измерения в первом случае выше.

Относительная приведенная погрешность - отношение абсолютной погрешности к разности верхнего A_{\max} и нижнего A_{\min} пределов шкалы прибора, выраженное в %

$$\delta_{\text{пр}} = \frac{\Delta X}{(A_{\max} - A_{\min})} 100[\%]. \quad (4.12)$$

4.4.2 Оценка величин погрешностей

Так как истинное значение всегда остается неизвестным, оперируют понятием **оценка**. Оценка – приближенное значение величины с максимально возможной при имеющихся данных точностью.

Оценка величины систематической погрешности

Систематические ошибки условно можно разделить на четыре группы [5]:

1) **Ошибки, природа которых нам известна и величина может быть достаточно точно определена.** Такие ошибки могут быть устранены введением соответствующих поправок.

Пример: Рассмотрим измерение линейного размера латунного цилиндра при помощи стальной линейки, проградуированной при 0°C . Предположим, что диаметр цилиндра при 0°C равен 100 мм. Измерения проводятся при 25°C . Коэффициент линейного расширения латуни $19 \cdot 10^{-6} \text{ 1/град.}$, стали - $11 \cdot 10^{-6} \text{ 1/град.}$ Легко определить, что при нагревании на 25°C удлинение используемого участка линейки составит 0,27 мм, а увеличение диаметра цилиндра – 0,47 мм. Поправкой будет разница этих величин, т.е. 0,2 мм.

2) **Ошибки известного происхождения, но неизвестной величины.**

На шкале почти всех измерительных приборов указан класс их точности. Существующие приборы разделяются на следующие классы точности: 0,005; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 (0,6); 1,0; 1,5 (1,6); 2,5; 4,0; 6,0. Погрешности прибора нормируются только для рабочей части шкалы. У приборов с равномерной шкалой рабочей частью является вся шкала. А для приборов с неравномерной шкалой рабочая часть начинается с 25 % от начального диапазона измерения. Чем меньше диапазон измерения, тем выше относительная погрешность.

Например, класс точности 0,5 означает, что показания прибора правильны с точностью 0,5 % от всей действующей шкалы прибора.

Пример: Если вольтметр имеет шкалу до 150 В и класс точности 0,5, то систематическая абсолютная погрешность измерения этим прибором может достигать:

$$\Delta_c = \frac{150 \text{ В} \cdot 0,5\%}{100\%} = 0,7 \text{ В.}$$

Если класс точности прибора не указан (например, штангенциркуль, микрометр, линейка), считается, что систематическая погрешность данного прибора равна половине цены деления шкалы.

Систематические ошибки, вносимые измерительными приборами второй группы, как правило, не могут быть точно оценены и исключены. Могут быть определены лишь их наибольшие значения.

Пример: Измерить ток $I = 65,3$ мА при помощи миллиамперметра класса точности 1,0 со шкалой 75 мА. Мы можем записать $I = (65,3 \pm 0,75)$ мА. Это значит, что измеренное значение лежит где-то в пределах $64,5 < I < 66,1$ мА. Более точно о величине измеренного тока мы сказать ничего не можем.

3) Существование ошибок, о существовании которых мы не предполагаем, хотя их величина их может быть значительной.

Иногда бывает, что какая-либо физическая величина измеренная с точностью, например, до 2 – 3%, в действительности может в 2 раза и более отличаться от действительного значения.

Пример: Определение плотности по объему и весу тела. Мы можем совершить грубую ошибку, если измеряемый объект содержал внутри пустоты.

Один из наиболее надежных способов оценки правильности полученного результата – проведение измерения интересующей нас величины другим методом в других условиях. Совпадение результатов измерений служит хотя и известной, но не абсолютной гарантией их правильности. Бывают случаи, когда при измерении разными методамиотягчены одной и той же ускользнувшей от экспериментатора систематической ошибкой, и в этом случае оба совпавшие друг с другом результата окажутся одинаково неверными, как, например, в следующем примере.

4) Ошибки, обусловленные свойствами объекта исследования.

Пример: Определение удельного сопротивления проводника, площадь поперечного сечения которого имеет непостоянное значение или материал имеет инородные включения.

Из сказанного выше вытекает следующее правило - ***систематическая погрешность не может быть уменьшена путем увеличения числа идентичных измерений.***

В таблице 4.1 приведены некоторые виды систематических погрешностей, а так же некоторые способы их обнаружения и оценки.

Таблица 4.1 – Оценка систематических погрешностей

№ п/п	Тип систематической погрешности	Способ оценки или исключения	Пример
1	Постоянная погрешность известной величины и знака.	Может быть исключена путем введения поправки (положительной или отрицательной)	Смещение стрелки прибора от нулевого положения на известное число делений шкалы.
2	Погрешность градуировки прибора.	Может быть оценена по известному классу точности прибора или по цене деления шкалы прибора (исключить нельзя).	Цена деления линейки равна 1 мм. Систематическая погрешность градуировки оценивается 0,5 мм.
3	Погрешность округления числа.	Оценивается как половина последнего указанного при округлении разряда числа.	Если число π округлено до 3,14, то погрешность округления оценивается 0,005, если π округлено до 3,1, то погрешность округления равна 0,05.
4	Погрешность, о которой экспериментатор только догадывается.	Погрешность может быть обнаружена путем измерения одной и той же величины с помощью разных методов в разных условиях.	Обнаружение разнорезультатности весов путем взвешивания на них тела попеременно на левой и правой чашках.

Оценка величины случайной погрешности

Если систематические ошибки устранены (сведены к минимуму), то точность измерений определяется погрешностью измерительных приборов и случайными ошибками.

При этом возможно два случая:

Случай 1. Случайные ошибки меньше погрешности измерительных приборов. Если в результате ряда измерений получается *постоянное в пределах точности приборов* значение, то ошибка измере-

ния определяется погрешностью измерительных приборов. Измерение физической величины при этом проводится только один раз (для исключения промаха рекомендуется проводить два измерения) а результат записывается в виде

$$X = X_i \pm \Delta_X, \quad \delta_X = \frac{\Delta_X}{X} \cdot 100\%, \quad (4.13, 4.14)$$

где X_i - результат измерения, а Δ_X - абсолютная погрешность измерительного прибора, δ_X – относительная погрешность измерения величины X .

Это означает только то, что истинное значение измеряемой величины лежит где-то в интервале от $X - \Delta_X$ до $X + \Delta_X$.

Случай 2. Случайные ошибки больше погрешности измерительных приборов. Если результат измерения физической величины определяют случайные ошибки, то оценка погрешности измерения физической величины разделяется на два этапа: оценку истинного значения измеряемой величины X_u и определение случайной погрешности измерения этой величины $\Delta_{сл}$.

Для большинства измерений наилучшей оценкой истинного X_u или правильное действительного X_d значения измеряемой величины, как показано в математической теории погрешностей, является среднее арифметическое ряда значений искомой величины полученных путем повторных измерений этой величины

$$X_u \approx \bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (4.15)$$

где n - количество проведенных измерений величины X .

В запись оценки случайной ошибки входят два числа:

- величина доверительной вероятности или коэффициент надежности α ;
- величина самой ошибки (или так называемый доверительный интервал $\pm \Delta_X$).

Доверительной вероятностью или коэффициентом надежности α называется вероятность того, что результат измерения отличается от истинного значения на величину не более чем Δ_X (в некоторых источниках доверительная вероятность обозначается буквой P).

Доверительным интервалом называется интервал значений от $X - \Delta_X$ до $X + \Delta_X$.

Чем большим выбирается доверительный интервал, т.е. чем больше задаваемая величина Δ_X , тем вероятнее, что результаты последующих измерений не выйдут за его пределы.

Задав одну из этих величин, т.е. Δ_X или α , можно используя методы теории случайных ошибок найти другую.

Удобнее всего случайную погрешность определять используя понятие стандартной или средней квадратичной ошибки S_n .

Если мы ограничим доверительный интервал в пределах $\pm S_n$, вероятность того, что при последующих измерениях результат измерения попадет в этот предел будет равна 68% (доверительная вероятность или по-другому коэффициент надежности 0,68).

Доверительная вероятность удвоенного интервала $\pm 2S_n$ равна 0,95, утроенной $\pm 3S_n - 0,997$.

Средняя квадратичная ошибка S_n определяется по формуле

$$S_n = \sqrt{\frac{(\bar{X} - X_1)^2 + (\bar{X} - X_2)^2 + \dots + (\bar{X} - X_n)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X} - X_i)^2}{n-1}}, \quad (4.16)$$

где n - число измерений;

X_i - значение измеряемой величины при i -ом измерении;

\bar{X} - среднее значение измеряемой величины.

Если число измерений очень велико, то величина S_n стремится к некоторому постоянному пределу σ .

Строго говоря, именно величина σ и называется средней квадратичной ошибкой. Ее квадрат и есть дисперсия измерения

$$D = \sigma^2. \quad (4.17)$$

Средней квадратичной ошибкой среднего арифметического \bar{X} ряда измерений называется величина

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (4.18)$$

Если были бы известна σ или $\sigma_{\bar{X}}$, то для заданного доверительного интервала можно было бы вычислить доверительную вероятность α , используя формулы распределения Гаусса.

На практике, как правило, число измерений невелико и величины σ и $\sigma_{\bar{X}}$ неизвестны, а известны только величины или средней квадратичной ошибки S_n (4.16) или средней квадратичной ошибки среднего арифметического X_i ряда измерений n

$$S'_n = \frac{S_n}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}}. \quad (4.19)$$

$S_n \rightarrow \sigma$ при $n > 100$. Для малого числа измерений вместо распределения Гаусса используется распределение Стьюдента. Для нахождения границ доверительного интервала $\pm \Delta_X$ используется так называемый коэффициент Стьюдента $t_{\alpha, n}$, зависящий от величины доверительной вероятности α и числа измерений n

$$t_{\alpha, n} = \frac{\sqrt{n} \Delta_X}{S_n} = \frac{\Delta_X}{S'_n}, \quad (4.20)$$

где S_n – средняя квадратичная ошибка, S'_n – средняя квадратичная погрешность среднего арифметического \bar{X} ряда из n измерений, откуда

$$\Delta_X = t_{\alpha, n} \cdot \frac{S_n}{\sqrt{n}} = t_{\alpha, n} \cdot S'_n. \quad (4.21)$$

В таблице 4.2 приведены значения коэффициентов Стьюдента, рассчитанных по числу измерений n и величине доверительной вероятности α , в которой значение коэффициента находится на пересечении строки, соответствующей известному n и столбца, соответствующего искомой α .

Таблица 4.2 – Значения коэффициентов Стьюдента

α n-1	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
1	3,1	6,31	12,7	31,8	63,7	636,6
2	1,9	2,92	4,30	6,96	9,92	31,6
3	1,6	2,35	3,18	4,54	5,04	12,9
4	1,5	2,13	2,78	3,75	4,60	8,61
5	1,5	2,02	2,57	3,36	4,03	6,87
6	1,4	1,94	2,45	3,14	3,71	5,96
7	1,4	1,89	2,36	3,00	3,50	5,41
8	1,4	1,86	2,31	2,90	3,36	5,04
9	1,4	1,83	2,26	2,82	3,25	4,78
10	1,4	1,81	2,23	2,76	3,17	4,59
11	1,4	1,80	2,20	2,72	3,11	4,44
12	1,4	1,78	2,18	2,68	3,05	4,32
13	1,4	1,77	2,16	2,65	3,01	4,22
14	1,3	1,76	2,14	2,62	2,98	4,14
15	1,3	1,75	2,13	2,60	2,95	4,07
16	1,3	1,75	2,12	2,58	2,92	4,02
17	1,3	1,74	2,11	2,57	2,90	3,97
18	1,3	1,73	2,10	2,55	2,88	3,92
19	1,3	1,73	2,09	2,54	2,86	3,88
20	1,3	1,72	2,09	2,53	2,85	3,85

4.4.3 Суммирование систематической и случайной погрешностей

Систематическая и случайная ошибки близки друг к другу и в одинаковой степени влияют на результат измерений. Тогда суммарная ошибка опыта Δ_x найдется по формуле

$$\Sigma = \sqrt{\Delta_x^2 + (t_{\alpha,n} \cdot S_x)^2}. \quad (4.22)$$

На основании вышесказанного можно сформулировать следующие правила выбор методики измерения физической величины:



Рисунок 4.19 – Обобщенная схема порядка определения погрешности при проведении измерений физических величин

1. Если систематическая погрешность в два и более раз больше, чем случайная $\Delta x \geq 2S_x$, то случайной погрешностью можно пренебречь, т.е. считать, что $\Sigma \approx \Delta_x$. Так как Δ_x не уменьшается при увеличении количества измерений n достаточно проведение трех - четырех измерений для того, чтобы убедиться, что показания прибора повторяются без случайных отклонений и промахи отсутствуют.

2. Если случайная погрешность более чем в 2 раза превышает систематическую $S_X \geq 2\Delta_X$, то систематической погрешностью можно пренебречь, т.е. считать, что $\Sigma \approx S_X$. При этом необходимо проводить максимально возможное число измерений для уменьшения случайной погрешности S_X .

3. Если обе составляющие общей абсолютной погрешности соизмеримы, то следует их суммировать пользуясь формулой (4.22) (расчетную формулу необходимо выбирать сообразно с необходимой величиной доверительной вероятности α полученного результата, а число измерений n необходимо по возможности увеличивать для уменьшения величины случайной погрешности S_X).

Задание

В соответствии с индивидуальным заданием:

- вычислить абсолютную Δ_X и относительную δ погрешности измерения физической величины;
- сравнить абсолютную погрешность Δ_X с погрешностью измерительного прибора Δ ;
- определить стратегию нахождения суммарной погрешности и саму суммарную погрешность Σ измерения данной физической величины.

Практическое занятие №5

Планирование и обработка однофакторного эксперимента

5.1 Первичная обработка экспериментальных данных

В этом разделе приводится методика исследования результатов наблюдений на наличие грубых ошибок, исключения последних из дальнейших расчетов, вычисление оценок истинных значений наблюдаемых параметров, составление таблицы обработанных данных для последующего анализа.

Рассмотрим нахождение уравнения регрессии методом избранных точек на следующем примере.

Найти зависимость доли времени T_n поворотов в балансе общего времени смены в функции длины l_r рабочего гона.

Результаты проведения опытов приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Результаты проведения опытов

$T_{и}, \%$	46	28	20	18	14	13	9	11	8	2
	48	29	24	17	15	14	11	10	9	9
	44	30	22	19	16	12	13	9	10	10
$T_{г}, м$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000

Из таблицы видно, что выполнено 10 опытов ($m=10$) с трехкратной повторностью каждого ($n=3$).

Где $i=1...m$ - номер опыта;

$j=1...n$ - номер измерений в данном опыте.

Истинное значение измеряемой величины принято оценивать средним арифметическим нескольких измерений

$$\bar{Y} = \frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Y_j, \quad (5.1)$$

Мерой рассеяния (изменчивости) результатов измерений относительно оценки истинного значения - среднего арифметического - является дисперсия

$$S^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2}{n-1}, \quad (5.2)$$

Корень квадратный из дисперсии называется средним квадратическим отклонением или стандартом

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2}{n-1}}, \quad (5.3)$$

Для большинства технических измерений можно принять наибольшей предельной ошибкой величину, примерно равную плюс-минус трем стандартам

$$\Delta_{и} \approx \pm 3 \cdot S, \quad (5.4)$$

Более точно наибольшую ошибку можно определить, заменив коэффициент «3» в (5.4) на значение t - критерия Стьюдента, определяющееся повторностью измерений и заданной надежностью результатов.

Из теории ошибок известно, что повторность опытов зависит от допускаемой ошибки в долях стандарта и заданной надежностью результата. Здесь под надежностью подразумевается вероятность получения тех же результатов при новых.

В практике большинства эксплуатационных исследований достаточно надежностью опыта равная 0,7. Для исследований, связанных с конструкциями машин, необходимо выбирать надежность не менее 0,9.

Пусть, например, следует измерить микрометром какую-либо деталь. Предельная ошибка при этом составит:

$$\Delta_{II} = 0,01 = 3 \cdot S \text{ (мм)}.$$

Тогда для обеспечения надежности 0,7 достаточно одного измерения, а 0,9 - уже два.

В данном примере приводится таблица уже выполненных измерений, здесь мы должны принять имеющиеся повторность и количество опытов и по ним определить значение t (оно находится в столбике «ошибка»).

Таблица 5.2 - Необходимая повторность опытов

Ошибка	Надёжность опыта							
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,99	0,999
3,0	1	1	1	1	2	3	4	5
2,0	1	1	1	2	3	4	5	7
1,0	2	2	3	4	5	7	11	17
0,5	3	4	6	9	13	18	31	50
0,4	4	6	8	12	19	27	46	74
0,3	6	9	13	20	32	46	48	127
0,2	13	19	19	43	70	99	171	277
0,1	47	72	169	266	273	387	668	1098

При измерениях или оформлении результатов эксперимента возможны так называемые «грубые ошибки». В основном это человеческий фактор. Например, исследователь посмотрел не на тот прибор, записал данные не в тот столбик, ошибся с количеством нулей и т.д.

Возможны грубые отклонения и под действием внешних случайных факторов. Ошибочные данные необходимо выявить и исключить из дальнейших расчетов.

Результаты измерений, содержащие грубые ошибки, должны быть выявлены и из расчетов исключены.

Для этого необходимо определить доверительные границы для каждой серии опытов (для каждого столбика данных), т.е. минимальное и максимальное правдоподобные значения исследуемой величины $Y_i(\min)$ и $Y_i(\max)$ (в данном случае $T_{ин}(\min)$ и $T_{ин}(\max)$).

Доверительные границы согласно теории вероятности находятся по следующим формулам:

$$Y_i(\min) = \bar{Y}_i - t \cdot S_i \quad (5.5)$$

$$Y_i(\max) = \bar{Y}_i + t \cdot S_i, \quad (5.6)$$

Затем проверить выходит ли минимальное значение вариационного ряда за нижнюю доверительную границу и максимальное - за верхнюю. Если выходят, то эти результаты содержат грубые ошибки и их необходимо из дальнейших расчетов исключить.

Проведем исследование первого столбца (таблица 5.1) аргументов на наличие грубых ошибок:

$$\bar{T}_{ин} = \frac{46 + 48 + 44}{3} = 46;$$

$$S_1 = \sqrt{\frac{(46 - 46)^2 + (46 - 48)^2 + (46 - 44)^2}{3 - 1}} = 2;$$

Так как данные исследования можно отнести к эксплуатационным по таблице 5.2 примем $t=1$, тогда:

$$T_{ин}(\min) = 46 - 2 = 44; \quad T_{ин}(\max) = 46 + 2 = 48.$$

Ни одно из значений не выходит за доверительные границы, следовательно, грубых ошибок нет. Таким же образом проверим остальные столбцы. При исследовании последнего столбца выяснилось:

$$\bar{T}_{ин10} = 7, \quad S_{10} = 4.36,$$

$$T_{П10}(\min) = 7 - 4.36 = 2.64,$$

$$T_{П10}(\max) = 7 + 4.36 = 11.36.$$

Здесь видно, что минимальное значение $T_{П10} = 2$ выходит за нижнюю доверительную границу $T_{П}(\min) = 2,64$, следовательно, имеет место грубая ошибка и содержащее измерение следует из дальнейшего анализа исключить. Уточненная оценка истинного значения составит:

$$\bar{T}_{П10} = \frac{9+10}{2} = 9,5.$$

В результате вычислений получаем таблицу обработанных исходных данных.

Таблица 5.3 - Таблица обработанных исходных данных

$\bar{T}_{П}, \%$	46	29	22	17	15	14	11	10	9	9,5
$I_{Г}, м$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000

5.2 Метод избранных точек

Суть метода избранных точек удобно уяснить на примере. Пусть нам нужно подобрать аналитическую зависимость для времени поворота $T_{П}$ в функции длины гона $I_{Г}$, используя таблицы 5.3. обработанных результатов наблюдений.

Построим координатные оси, выберем масштаб и нанесем точки - результаты наблюдений.

Далее необходимо проанализировать расположение построенных точек. Если точки располагаются приблизительно на одной прямой, зависимость можно аппроксимировать линейной функцией – формула (5.7). Если из построенных точек вырисовывается явно кривая линия, необходимо применить полином второго порядка – формула (5.8).

$$y = a + b \cdot x, \quad (5.7)$$

$$y = a + b \cdot x + c \cdot x^2. \quad (5.8)$$

Положение прямой определяется двумя точками. Положение кривой второго порядка – тремя.

Анализируя расположение построенных точек $T_{П}$ в функции $I_{Г}$, можно отметить, что прямая линия для аппроксимации эксперимен-

тальных данных здесь не подойдет. Лучшее описание даст кривая второго порядка типа:

Здесь неизвестными являются коэффициенты **a**, **b**, **c**. Их три, поэтому выбираем на рисунке 5.1 три точки и, используя их координаты, составим систему трех уравнений.

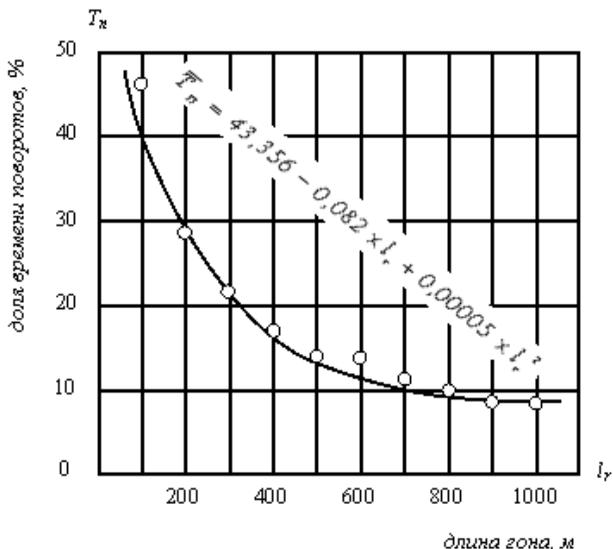


Рисунок 5.1 - График зависимости доли времени поворотов от длины гона.

На наш взгляд искомая кривая лучшим образом опишет наблюдаемый процесс, если пройдет через точки 1 (200, 29), 2 (500, 15), 3 (800, 10). Тогда получим:

$$29 = a + 200 \cdot b + 200^2 \cdot c$$

$$15 = a + 500 \cdot b + 500^2 \cdot c$$

$$10 = a + 800 \cdot b + 800^2 \cdot c$$

Решая систему уравнений, получим $a=43,356$, $b=-0,0818$, $c=0,0000501$. Тогда искомая аналитическая зависимость примет вид:

$$\hat{T}_{II} = 43,356 - 0,0818 \cdot l_{\Gamma} + 0,0000501 \cdot l_{\Gamma}^2. \quad (5.9)$$

Теперь представим в виде таблицы значения аргумента и соответствующие им средние \bar{T}_{II} (по таблице 5.3) вычисленные по уравнению регрессии \hat{T}_{II} (по формуле (5.9)) значения функции, ошибки аппроксимации.

Таблица 5.4 - Оценка качества аппроксимации

$I_{Г, м}$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
\bar{T}_{II}	46	29	22	17	25	14	11	10	9	9,5
\hat{T}_{II}	35,7	29	23,3	18,6	15	12,3	10,6	10	10,3	11,6
$\Delta_i = \bar{T}_{II} - \hat{T}_{II}$	10,3	0	-1,3	-1,6	0	1,7	0,4	0	-1,3	-2,15

Используя результаты вычислений из таблицы 5.4, нанесем на рисунок 5.1 точки T_{II} , соединим их и получим изображение искомой кривой. Над полученной зависимостью необходимо написать ее аналитическое выражение (5.9).

Для оценки качества аппроксимации, используя значение ошибок Δ_i из таблицы 5.4 и формулу 5.2, подсчитаем остаточную дисперсию:

$$S_{ост}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n - 1} = 0,84.$$

Необходимо отметить, что значения Δ_i во многом определяются качеством выбора точек, здесь - 1, 2, 3 и типом зависимости. Чем точнее аналитическая зависимость описывает изучаемый процесс, тем меньше значение $S_{ост}^2$.

Практическое занятие №6

Рандомизация плана эксперимента.

Построение латинских квадратов

6.1 Рандомизация плана эксперимента

В технике чаще встречаются так называемые **невоспроизводимые эксперименты**. Такой эксперимент протекает во времени необратимо без возможности его изменения или повторения. Можно утверждать,

что все эксперименты невоспроизводимы в том смысле, что ни один образец или прибор после использования не возвращается к идентичному состоянию.

Если изменения, вносимые в процессе эксперимента, настолько малы, что их невозможно обнаружить, такие эксперименты считаются **воспроизводимыми** и полагают, что по желанию прибор можно вернуть в любое предыдущее состояние. В таких экспериментах допускается выбор последовательности условий; мы рассмотрим два основных типа экспериментов. При первом типе можно взять верхнее или нижнее предельное значение независимой случайной величины и изменять его последовательно до достижения другого предельного значения. При втором типе выбранные значения можно чередовать случайным образом, беря то большее, то меньшее значение. Первый план называют **последовательным**, а второй - **случайным (рандомизированным)** [7].

Очевидно, что последовательный план целесообразно применять при проведении испытаний материалов. Существуют и другие, более тонкие эксперименты, где также необходим последовательный план.

Вместе с тем существует большая область научных исследований, где лучше всего подходит частично или полностью рандомизированный план. Наиболее характерными условиями, определяющими преимущество такого плана, являются следующие.

1. Естественные эффекты могут обнаруживать тенденцию к изменению в процессе эксперимента. Наиболее характерным примером таких условий является проведение натурных исследований оборудования, чувствительного к изменению внешних погодных факторов. Атмосферное давление может увеличиваться, температура окружающей среды может постепенно возрастать или падать, влажность воздуха может изменяться. Если независимая переменная X непрерывно варьируется, то зависимая переменная Y может изменяться как вследствие изменения переменной X , так и вследствие изменения метеорологических условий. Если же переменная X изменяется случайным образом, то исключается возможность ошибочно принять влияние метеословий за влияние переменной X .

2. В процессе эксперимента может изменяться работоспособность оператора. Наиболее вероятно совершенствование навыка или, наоборот, появление усталости у персонала, получающего данные и обслуживающего аппаратуру. Важно знать, обусловлены те или иные эффекты увеличением переменной X или же вызваны ухудшением точности показаний прибора перед концом смены. Если переменная X

изменяется случайным образом, то смешивания этих двух факторов не произойдет.

3. Механические воздействия могут вызвать изменение переменной X . Это, по-видимому, наиболее важная причина применения рандомизированных планов. Допустим, что требуется проверить работу нового резца в производственных условиях. Необходимо определить оптимальную скорость резания для данного инструмента, обеспечивающую максимальный выход продукции (производительность) и чтобы при этом процент брака не превышал некоторой заданной величины. В этом эксперименте имеется одна независимая переменная - скорость резания, а зависимой переменной является выход продукции Y .

Однако в таком эксперименте имеется одна явная внешняя переменная - рабочий, обслуживающий станок. Если бы было, например, 20 рабочих, то каким образом следовало бы выбрать типичного, или среднего, представителя для проведения эксперимента? Рабочие могут в значительной мере отличаться друг от друга по мастерству, физической силе и т.д., поэтому выбор единственного «среднего» рабочего для проведения эксперимента не имеет смысла. Тогда каким-либо способом выберем случайным образом четырех рабочих, каждый из которых будет работать полную смену при заданной скорости обработки. Чтобы сбалансировать эксперимент, выберем четыре различные скорости обработки, чтобы каждый рабочий за четыре дня опробовал каждую из четырех скоростей. Этим достигается рандомизация эксперимента по такой внешней переменной, как рабочий. Обозначив скорости цифрами 1, 2, 3 и 4, а рабочих буквами A , B , C и D , можно получить следующий план (табл. 6.1).

Таблица 6.1 – Рандомизация по внешней переменной

Рабочий	День недели			
	понедельник	вторник	среда	четверг
A	1	2	3	4
B	1	2	3	4
C	1	2	3	4
D	1	2	3	4

Такой план не учитывает влияния последовательности изменения условий эксперимента. Энтузиазм, интерес, а возможно, и страх, которые вызывает у рабочего новый инструмент в понедельник, к четвергу могут ослабнуть, и по этой причине может снизиться произво-

дительность. И наоборот, может появиться натренированность, и производительность увеличится. Мы не провели рандомизацию по такой внешней переменной, как рабочий день. Допустим теперь, что для каждого рабочего выбор номеров скорости обработки производится по жребию и таким образом рандомизируется последовательность их появления (табл. 6.2).

Таблица 6.2 – Первый вариант рандомизированного плана

Рабочий	День недели			
	понедельник	вторник	среда	четверг
A	1	2	3	4
B	3	4	1	2
C	2	1	4	3
D	4	3	2	1

Это более совершенный план, но его можно улучшить. Заметим, что при рандомизации скорости 1 и 4 выпали в основном на последние два дня. Ослабление интереса к завершающему этапу эксперимента может привести к повышению производительности на средних скоростях, которая фактически не связана с изменением скорости. Произведем полную рандомизацию эксперимента таким образом, чтобы в данный день каждая скорость обработки встречалась только один раз и чтобы ни один рабочий не использовал одну и ту же скорость обработки больше одного дня (табл. 6.3).

Таблица 6.3 – Второй вариант рандомизированного плана

Рабочий	День недели			
	понедельник	вторник	среда	четверг
A	1	2	3	4
B	3	4	1	2
C	2	1	4	3
D	4	3	2	1

Мы построили так называемый **латинский квадрат**.

Однако мы можем еще дальше усовершенствовать эксперимент, связанный с испытанием резцов. Если каждого рабочего закрепить за данным станком (а станки могут значительно отличаться друг от друга), то вследствие различий между станками может появиться систематическая ошибка. Обозначая станки буквами W, X, Y, Z, распределим условия эксперимента между станками таким образом, чтобы

каждый рабочий обслуживал каждый станок только один день и чтобы на каждой скорости каждый станок работал только один день (табл. 6.4).

Таблица 6.4 – Третий вариант рандомизированного плана

Рабочий	День недели			
	понедельник	вторник	среда	четверг
A	1	2	3	4
B	1	2	3	4
C	1	2	3	4
D	1	2	3	4

Использование **греко-латинского квадрата** позволяет усреднить влияние таких факторов, как рабочий день, станок и рабочий. Рассмотренный пример представляет собой **однофакторный эксперимент**, в котором имеется одна независимая переменная X и одна зависимая переменная Y .

6.2 Построение латинских квадратов

Латинский квадрат n -го порядка – это квадрат $n \times n$, заполненный элементами некоторого множества таким образом, что в каждой строке и каждом столбце каждый элемент из этого множества встречался только один раз (см. рис. 6.1).

Греко-латинский квадрат - это квадрат $n \times n$ в каждой клетке которого стоят 2 числа, каждое из которых может принимать значения из некоторого множества (см. рис. 6.2). При этом выполняются следующие условия:

1. В каждой строке и столбце каждое значение встречается один раз на первом месте в паре, и один раз на втором.
2. Каждое значение стоит в паре с каждым другим значением и с самим собой по одному разу.

Такое название они получили так как их изобретатель Леонард Эйлер использовал для их построения буквы латинского и греческого алфавита.

Циклический сдвиг – очень простая схема построения латинских квадратов. Она работает для латинских квадратов любого порядка. Каждая следующая строка (или каждый следующий столбец) латинского квадрата получается из предыдущей строки (или столбца) цик-

лическим сдвигом с постоянным шагом k . Для квадрата порядка n шаг k может быть таким, что у k нет общих делителей с n , кроме 1.

A	B	C	D
B	C	D	A
C	D	A	B
D	A	B	C

Рисунок 6.1 – Латинский квадрат

$A\alpha$	$B\gamma$	$C\beta$
$C\gamma$	$A\beta$	$B\alpha$
$B\beta$	$C\alpha$	$A\gamma$

Рисунок 6.2 – Греко-латинский квадрат

Задание

По индивидуальному заданию рандомизировать план эксперимента.

Практическое занятие №7

Планирование и обработка многофакторного эксперимента.

Кодирование факторов.

Составление матрицы планирования

7.1 Полный факторный план

Планирование эксперимента – это процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения с требуемой точностью и достоверностью поставленной задачи.

Уровни факторов – количественные или качественные значения, которые принимают факторы в процессе эксперимента.

Факторы могут быть количественными и качественными.

Количественные – это величины, которые могут быть измерены количественно в каких то натуральных единицах измерения (температура, давление, скорость).

Но есть условия эксперимента, которые нельзя измерить количественно, например: виды материалов, веществ, технологических способов обработки объекта исследований и т. д. Это качественные факторы. Они принимают значения: «да» или «нет», «какой вид».

Кратность повторения опытов (n) – это количество повторений опыта при одном и том же сочетании условий. Кратность повторений позволяет избежать грубых ошибок и уменьшить влияние случайных факторов.

Полный факторный план (ПФЭ) – план, в котором все уровни каждого фактора сочетаются со всеми уровнями остальных факторов (то есть приобретаются все возможные варианты сочетаний факторов).

Такие типы планов еще называют классическими.

Число измерений при полном факторном плане:

$$M = nN = nK^z \quad (7.1)$$

где n – кратность повторений;

N – число опытов с различными условиями
(число вариантов сочетания уровней факторов);

K – количество уровней каждого фактора;

z – число факторов.

7.2 Кодирование факторов

Для удобства составления плана и дальнейшей обработки данных в матрицу планирования записываются не фактические уровни, а безразмерные кодированные уровни:

1. Для этого, прежде всего необходимо определить границы областей определения факторов (то есть \tilde{x}_i^{\min} , \tilde{x}_i^{\max}).

2. Определить основной (нулевой) уровень для каждого фактора или центр плана:

$$\tilde{x}_i^0 = \frac{\tilde{x}_i^{\min} + \tilde{x}_i^{\max}}{2}. \quad (7.2)$$

3. Определить интервал варьирования

$$\Delta \tilde{x}_i = \frac{\tilde{x}_i^{\max} - \tilde{x}_i^{\min}}{2 \cdot |x_i^{\max}|}, \quad (7.3)$$

где x_i^{\max} – максимальное значение, которое принимает кодированная переменная.

4. Симметрично увеличивая и уменьшая от нулевого уровня интервал варьирования до достижения \tilde{x}_i^{\min} и \tilde{x}_i^{\max} , получим значение факторов на соответственных уровнях.

Далее переходят к кодированным значениям факторов, таким образом, чтобы кодированные уровни принимали простые целочисленные значения с нулем в центре плана.

Пример. Запись кодированных уровней:

Двухуровневый план: $-1, +1; K=2; |x_i^{\max}|=1$

Трехуровневый план: $-1, 0, +1; K=3; |x_i^{\max}|=1$

Пятиуровневый план: $-2, -1, 0, +1, +2; K=5; |x_i^{\max}|=2$

Для перехода к кодированным уровням производится их линейное преобразование по следующей форме:

$$x_{ij} = \frac{\tilde{x}_{ij} - \tilde{x}_i^0}{\Delta\tilde{x}_i} \quad (7.4)$$

где i – номер фактора;

j – его уровень;

\tilde{x}_{ij} – значение i -го фактора на j -том уровне в натуральных единицах измерения;

\tilde{x}_i^0 – значение i -го фактора на нулевом уровне в натуральных единицах измерения;

$\Delta\tilde{x}_i$ – интервал варьирования i фактора в натуральных единицах измерения;

x_{ij} – кодированное значение i фактора на j уровне в безразмерных единицах.

7.3 Составление матрицы планирования двухфакторного эксперимента

Составим план ПФЭ 2^2 (двухфакторный эксперимент на двух уровнях). План эксперимента составляется в виде таблицы, которая называется матрицей планирования (таблица 7.1).

Каждый столбец такой таблицы называют вектор-столбцом, а каждую строку — вектор-строкой. Таким образом, в таблице 1 имеют-

ся два вектор-столбца независимых переменных и один вектор-столбец функции отклика.

Для правильного построения матрицы планирования необходимо при фиксированных значениях первого фактора перебрать все возможные значения второго фактора, а затем переходить к следующему значению первого фактора.

Таблица 7.1 – План ПФЭ 2^2 в кодированных переменных

Номер опыта u	Кодированные переменные		Функция отклика
	x_1	x_2	
1	-1	-1	Y_1
2	-1	+1	Y_2
3	+1	-1	Y_3
4	+1	+1	Y_4

Практическое занятие №8

Оценка коэффициентов регрессии, обратный переход к физическим переменным

Благодаря кодированию факторов по результатам опытов оказывается возможным определить коэффициенты регрессии для линейной модели

$$Y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2. \quad (8.1)$$

Для этого подставим в уравнение (8.1) значения x_1 и x_2 из таблицы 7.1. В результате получим следующую систему уравнений

$$\begin{aligned} Y &= a_0 + (-1)a_1 + (-1)a_2; \\ Y &= a_0 + (+1)a_1 + (-1)a_2; \\ Y &= a_0 + (-1)a_1 + (+1)a_2; \\ Y &= a_0 + (+1)a_1 + (+1)a_2. \end{aligned} \quad (8.2)$$

Из этих четырех уравнений нетрудно найти неизвестные коэффициенты. Для этого уравнения алгебраически складывают после умножения на +1 (-1) в соответствии с вертикальными столбцами.

Эти столбцы полностью соответствуют плану ПФЭ 2^2 (столбец для определения a_1 соответствует столбцу в плане для x_1 соответственно для $a_2 - x_2$).

Для расчета величины a_0 достаточно сложить все четыре уравнения:

$$Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 = 4a_0.$$

Для нахождения величины a_1 необходимо изменить знаки на противоположные в уравнениях первом и третьем (согласно столбцу x_1 в таблице 7.1), а затем уравнения просуммировать, в результате чего получим

$$-Y_1 + Y_2 - Y_3 + Y_4 = 4a_1.$$

Таким же образом, изменив знаки на противоположные в уравнениях первом и втором (согласно столбцу x_2 таблицы 7.1), после суммирования получим

$$-Y_1 - Y_2 + Y_3 + Y_4 = 4a_2.$$

Отсюда для вычисления коэффициентов регрессии получим следующие формулы:

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4}{4}; \\ a_1 &= \frac{-Y_1 + Y_2 - Y_3 + Y_4}{4}; \\ a_2 &= \frac{-Y_1 - Y_2 + Y_3 + Y_4}{4}. \end{aligned} \tag{8.3}$$

Из четырех уравнений (8.2) определены только три параметра (a_0 , a_1 , a_2). Но в общем случае система из четырех уравнений позволяет определить четыре неизвестных, таким образом, остается еще одна степень свободы, которой можно воспользоваться для оценки взаимодействия факторов x_1 и x_2 . Для этого нужно, пользуясь правилом перемножения столбцов, получить столбец произведений этих двух факторов. При вычислении коэффициента, соответствующего эффекту вза-

имодействия факторов, с новым вектор-столбцом можно обращаться так же, как с вектор-столбцом любого фактора.

Уравнение регрессии, учитывающее эффекты парных меж- факторных взаимодействий, будет иметь вид

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_{12}x_1x_2 .$$

План ПФЭ 2^2 с учетом эффектов взаимодействий факторов представлен в таблице 8.1.

Коэффициент a_{12} рассчитывается аналогично (8.3) с учетом знаков столбца x_1x_2 :

$$a_{12} = \frac{Y_1 - Y_2 - Y_3 + Y_4}{4}$$

В общем виде формулы расчетов коэффициентов регрессии (кроме коэффициентов при квадратах факторов):

- для коэффициентов, определяющих эффекты факторов по отдельности:

$$a_i = \frac{\sum x_{ij} \cdot Y_j}{N'} \quad (8.4)$$

- для коэффициентов, определяющих эффекты взаимодействия:

$$a_{iu} = \frac{\sum x_{ij} \cdot x_{uj} \cdot Y_j}{N'} \quad (8.5)$$

где i – номер фактора;

u – номер другого фактора, взаимодействующего с ним;

j – номер опыта;

N – число опытов, в которых соответствующий

искомому коэффициенту а фактор не равен нулю.

Формулы для нахождения коэффициентов можно представить, как скалярное произведение столбца Y на столбец соответствующего фактора, деленное на число опытов с ненулевыми значениями данного факто-

ра. На практике и в специальной литературе для двух- и трехуровневых планов единицы опускают и остаются только знаки «+» и «-».

Для того, чтобы распространить вышеуказанный алгоритм нахождения коэффициентов на a_0 , в матрицу планирования вводят фиктивную переменную x_0 , которая для всех опытов равна (+1).

С учетом этого матрица планирования примет вид

Таблица 8.1 – Модифицированная матрица планирования

№	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	Y
1	+	-	-	+	Y_1
2	+	-	+	0	Y_2
3	+	+	-	-	Y_3
4	+	+	+	0	Y_4

При добавлении факторов, исходное *факторное множество* (столбцы с иксами) должно быть повторено столько раз, сколько уровней в плане.

Для записи математической модели в реальных физических величинах необходимо произвести обратный переход от стандартизированного масштаба к натуральному. Это можно сделать с помощью соотношения (8.4). После чего записывают окончательный вид математической модели.

Практическое занятие №9

Оценка дисперсии воспроизводимости опыта, адекватности модели и значимости коэффициентов

Для полученных экспериментальных данных и принятой модели применяют следующие статистические оценки: оценка дисперсии воспроизводимости опыта, оценка адекватности модели и оценка значимости ее коэффициентов.

9.1 Оценка дисперсии воспроизводимости

Оценка дисперсии воспроизводимости (погрешности опыта) определяется на основании данных параллельных опытов и характеризует равнозначность измерений во всех опытах.

Для проверки нулевой гипотезы, состоящей в том, что дисперсии во всех опытах равны между собой, т.е. проверка, значимо или незначимо отличаются оценки дисперсии в каждом опыте, более предпочтительно использование *критерия Кохрена*, который представляй собой отношение максимальной дисперсии $D_{y_{\max}}$ к сумме всех дисперсий в N опытных точках:

$$G = D_{y_{\max}} / \sum_{i=1}^N D_{y_i}, \quad (9.1)$$

где $D_{y_i} = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$; $\bar{y}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m y_{ij}$;

m - число измерений в i -м опыте, N - число опытов.

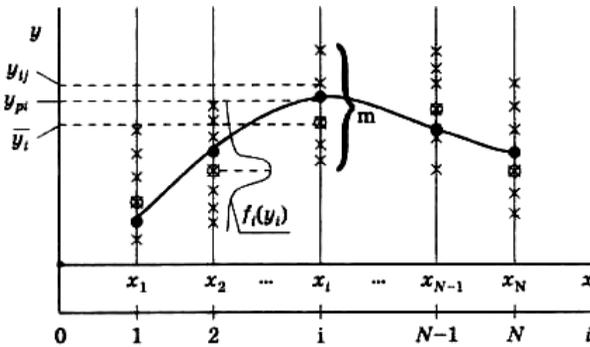


Рисунок 9.1 - Графическая интерпретация результатов эксперимента

Вычисленное по формуле (9.1) значение критерия Кохрена G при принятом уровне значимости α (чаще всего $\alpha = 0,05$) сравнивается с табличными G_T (табл. 9.1), которое является функцией числа степеней свободы $m - 1$ и N .

Если $G < G_T$, то гипотеза о равнозначности не отвергается. Тогда погрешность опыта, оцениваемая средней квадратической погрешностью при определении среднего значения \bar{y}_i .

$$\sigma_{\bar{y}_0}^2 = D_{\bar{y}_0} = \frac{1}{mN} \sum_{i=1}^N D_{y_i}, \quad (9.2)$$

где $mN = n$ – общее количество измерений.

Таблица 9.1 – Значения критерия Кохрена

N	m - I								
	1	2	3	4	5	6	8	16	∞
2	0,999	0,975	0,939	0,906	0,853	0,816	0,734	0,660	0,500
3	0,967	0,871	0,798	0,746	0,677	0,633	0,547	0,475	0,333
4	0,907	0,768	0,684	0,629	0,560	0,518	0,437	0,372	0,250
6	0,781	0,666	0,532	0,480	0,418	0,382	0,314	0,261	0,167
8	0,680	0,516	0,438	0,391	0,336	0,304	0,246	0,202	0,125
10	0,602	0,445	0,373	0,331	0,282	0,254	0,203	0,166	0,100
15	0,471	0,334	0,276	0,242	0,203	0,182	0,143	0,114	0,067
20	0,389	0,271	0,221	0,192	0,160	0,142	0,111	0,088	0,050
30	0,293	0,198	0,159	0,138	0,114	0,100	0,077	0,060	0,033
120	0,100	0,063	0,049	0,042	0,034	0,029	0,022	0,017	0,008

9.2 Оценка адекватности модели

Оценка адекватности аппроксимирующей зависимости исследуемому объекту обычно производится с помощью критерия Фишера, который в данном случае определяется как отношение дисперсии адекватности D_{y_a} к дисперсии опыта $D_{\bar{y}_0}$, определенной по формуле (9.2). Дисперсия адекватности, характеризующая рассеивание данных эксперимента \bar{y}_i вокруг аппроксимирующей зависимости (кривая на рис. 9.1), определяется по формуле

$$D_{y_a} = \frac{1}{N - k} \sum_{i=1}^N (y_{pi} - \bar{y}_i)^2, \quad (9.3)$$

где k - число коэффициентов в принятой математической модели; $k = s + 1$; s - порядок принятого полинома;

y_{pi} - расчетное значение функции в i -й точке при аппроксимации ее зависимостью вида $Y = f(X)$.

Тогда F -критерий запишется в виде

$$F = D_{y_a} / D_{\bar{y}_0} \quad (9.4)$$

Полученное в соответствии с (9.4) значение F сравнивается с табличным $F_T = f[N - k; N(m - I)]$ (см. табл. 9.2).

Таблица 9.2 – Значения критерия Фишера

$N(m-1)$	$N-k$									
	1	2	3	4	5	6	8	12	24	∞
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,84	8,74	8,64	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,04	5,91	5,77	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,82	4,68	4,53	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,15	4,00	3,84	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,73	3,57	3,41	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,44	3,28	3,12	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,23	3,07	2,90	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,07	2,91	2,74	2,54
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,85	2,69	2,50	2,30
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,70	2,53	2,35	2,13
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,59	2,42	2,24	2,01
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,45	2,28	2,08	1,84
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,27	2,09	1,89	1,62
∞	3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	1,94	1,75	1,52	1,00

* Здесь k — количество искоемых параметров (коэффициентов).

Пример

Предположим, задачи, выполняемые оператором, разбиты по сложности на три категории: $x_i; i=1 \dots N; N=3$. Среднее время, затрачиваемое на решение задачи y_i :

x_i	1	2	3
y_i	2	3	5

Получена аппроксимирующая зависимость $y_p = 0,33 + 1,5x$. Дисперсия $D_{y_0} = 0,05$. Произвести проверку адекватности.

Решение. В нашем случае $N = 3; k = 2; \bar{y}_i = y_i$.

$$D_{y_a} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_{pi} - y_i)^2 = \sum_{i=1}^3 (0,33 + 1,5x_i - y_i)^2 = 0,167.$$

По формуле (9.4) $F = 0,167/0,05 = 3,34$. По табл. 11.2 при $N - k = 1$ и $N(m-1) \rightarrow \infty$ (так как D_{y_0} задано, то подразумевается, что число повторений опыта достаточно велико) $F_T = 3,84$ и, следовательно, $F =$

$3,34 < F_T = 3,84$, и гипотеза об адекватности полученной линейной зависимости исследуемому объекту не отвергается.

9.3 Оценка значимости коэффициентов

Оценка значимости коэффициентов аппроксимирующей зависимости, взятой в виде алгебраического полинома (уравнения регрессии), в смысле отличия значений этих коэффициентов от нуля обычно проводится отдельно для каждого коэффициента a_l , где $l = 0 \dots s$, с помощью критерия Стьюдента

$$t_l = \frac{|a_l|}{\sigma_{a_l}}, \quad (9.5)$$

где $\sigma_{a_l} = \sqrt{D_{a_l}}$; D_{a_l} - дисперсия коэффициента регрессии a_l .

Величина D_{a_l} определяется следующим образом. Решается система нормальных уравнений относительно коэффициентов a_l .

$$\begin{aligned} a_0 \sum_i x_i^0 + a_1 \sum_i x_i^1 + a_2 \sum_i x_i^2 + \dots + a_s \sum_i x_i^s &= \sum_i x_i^0 y_i; \\ a_0 \sum_i x_i^1 + a_1 \sum_i x_i^2 + a_2 \sum_i x_i^3 + \dots + a_s \sum_i x_i^{s+1} &= \sum_i x_i^1 y_i; \\ \dots \dots \dots & \\ a_0 \sum_i x_i^s + a_1 \sum_i x_i^{s+1} + a_2 \sum_i x_i^{s+2} + \dots + a_s \sum_i x_i^{2s} &= \sum_i x_i^s y_i. \end{aligned}$$

При этом правые части уравнений $v_l = \sum_{i=1}^N x_i^l y_i$ не заменяются их численными значениями. В результате решения системы для коэффициентов a_l находят линейные зависимости от величин v_l . Если в эти зависимости подставить численные значения v_l то получим численные значения коэффициентов a_l . Если же в них подставить вместо v_l единицу, а вместо остальных v нули, то можно получить для каждого a_l значение M_l с помощью которого и находят

$$D_{a_l} = M_l D_{y_0} \quad (9.6)$$

где D_{y_0} - вычислено по выражению (9.2).

В частности, при линейной зависимости $Y = a_0 + a_1x$ и при $\sum_{i=1}^N x_i = 0$ зависимость $a_i(v_i)$ имеет вид

$$a_0 = v_0 N^{-1}; \quad a_1 = v_1 \left(\sum_{i=1}^N x_i^2 \right)^{-1}.$$

Тогда при $v_i = 1$ имеем $M_0 = N^{-1}$; $M_1 = \left(\sum_{i=1}^N x_i^2 \right)^{-1}$.

Воспользовавшись (9.6), запишем:

$$D_{a_0} = D_{\bar{y}_0} N^{-1}; \quad D_{a_1} = \left(\sum_{i=1}^N x_i^2 \right)^{-1} D_{\bar{y}_0}.$$

Таблица 9.3 – Значения коэффициента Стьюдента

v	t	v	t	v	t
1	12,71	6	2,45	20	2,09
2	4,30	8	2,31	30	2,04
3	3,18	10	2,23	120	1,98
4	2,78	15	2,13	∞	1,96

Значение t_i , определенное по формуле (9.5), сравнивают с табличным t_T , найденным для числа степеней свободы $v = N(m - 1)$ при принятом уровне значимости, обычно 0,05 (табл. 9.3). Если $t_i < t_T$ коэффициент a_i считается незначимым (т.е. можно принять $a_i = 0$) и соответствующее слагаемое исключается из уравнения регрессии. Заметим, что при $m = 1$ имеем $v = 0$ и рассмотренный метод оценки неприемлем. В этом случае оценка значимости коэффициента может быть произведена путем сравнения дисперсий адекватности D_{y_a} при наличии члена аппроксимирующего полинома с коэффициентом a_i и при его отсутствии ($a_i = 0$). Если дисперсия адекватности для второго варианта близка к дисперсии для первого, то рассматриваемый коэффициент можно считать незначимым.

Практическое занятие №10

Обработка экспериментальных данных средствами программы Excel

Обработка данных эксперимента с переменными параметрами, целью которого является нахождение уравнения регрессии, содержит три основных этапа:

- первичная обработка экспериментальных данных (исследование данных на наличие грубых ошибок);
- нахождение уравнения регрессии;
- проверка точности аппроксимации.

Математическая сущность этих процедур была описана в практическом занятии №5. Современная компьютерная техника и программное обеспечение позволяют избежать громоздких и трудоемких ручных вычислений. Многие математические компьютерные программы имеют встроенные функции для обработки статистических и экспериментальных данных.

Рассмотрим алгоритм обработки экспериментальных данных средствами программы Excel. Для этого вернемся к примеру приведенному в практическом занятии №5.

Задание

Найти зависимость доли времени T_p поворотов в балансе общего времени смены в функции l_r длины рабочего гона.

Таблица 10.1 – Данные измерений

	№ Опыта										№ Изм.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
T_p , %	46	28	20	18	14	13	9	11	8	2	1
	48	29	24	17	15	14	11	10	9	9	2
	44	30	22	19	16	12	13	9	10	10	3
l_r , м	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	

Решение

Сначала необходимо произвести исследование данных на наличие грубых ошибок.

По таблице 5.2 (практическое занятие №5) принимаем доверительные границы в пределах $\pm S$.

С помощью мастера диаграмм Excel изобразим проверяемые данные и выбранные доверительные границы для каждого столбца (каждого опыта).

Для этого запускаем *мастер диаграмм* Excel, в окне «тип» выбираем точечную диаграмму в виде отдельных точек и нажимаем кнопку «Далее» (рис. 10.1). Ряды данных в нашем случае будут располагаться в столбцах (рис. 10.2).

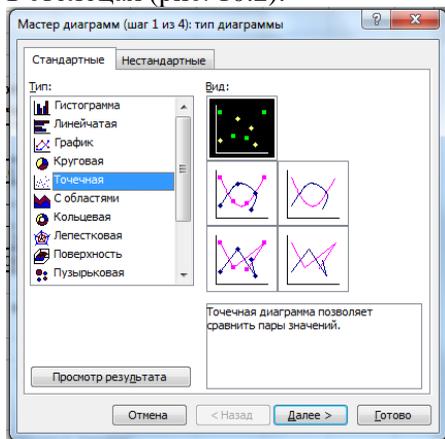


Рисунок 10.1-Выбор типа диаграммы

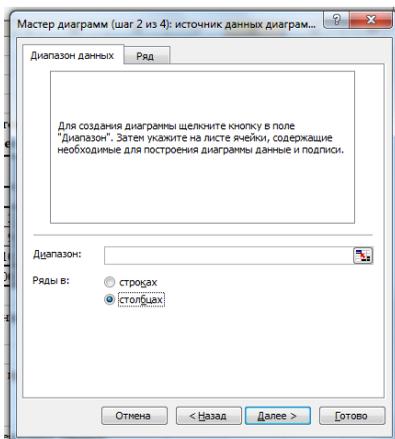


Рисунок 10.2-Выбор расположения рядов данных

Далее, нажав на кнопку справа от окна «Диапазон:» выделить данные первого столбца (рис. 10.3). Эти данные будут отложены по оси ординат, а по оси абсцисс – номер измерения (рис. 10.4).

	№ Опыта										№ Изм.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Тп, %	46	28	20	18	14	13	9	11	8	2	1
	48	29	24	17	15	14	11	10	9	9	2
	44	30	22	19	16	12	13	9	10	10	3
lg, м	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	

Рисунок 10.3-Выделение диапазона данных

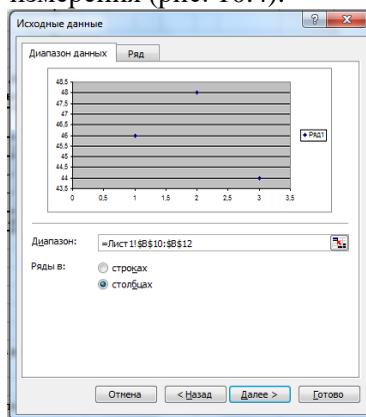


Рисунок 10.4-Предварительный просмотр отображения данных

Убрать галочку в окне «Добавить легенду» (рис. 10.5). На вкладке «Заголовки» набрать название диаграммы и осей (рис. 10.6).

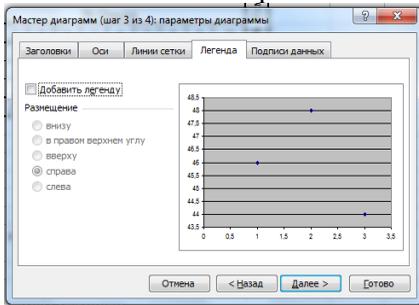


Рисунок 10.5-Вкладка легенда

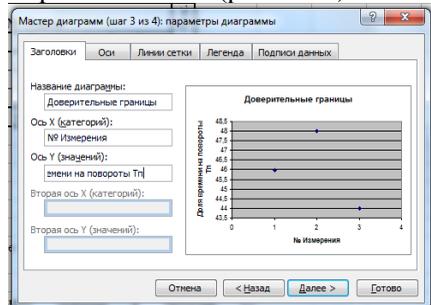


Рисунок 10.6-Заголовки диаграммы и осей

Линии сетки на диаграмме в данном случае не нужны (рис. 10.7). Разместим диаграмму на имеющемся листе (рис. 10.8).

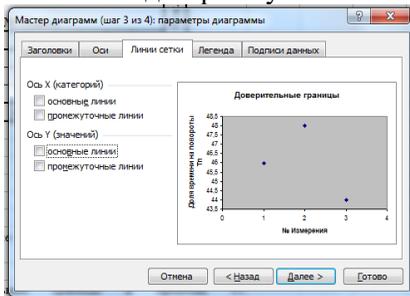


Рисунок 10.7 - Вкладка линии сетки

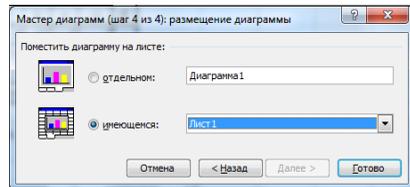
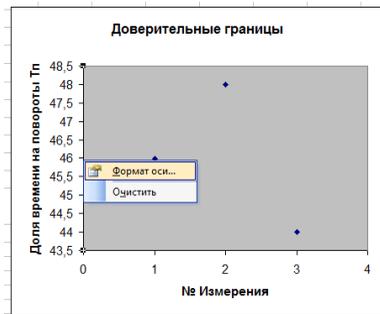


Рисунок 10.8 - Выбор расположения диаграммы

С помощью контекстного меню, вызываемого правой кнопкой мыши (рис. 10.9) отредактируем шкалы и область диаграммы.



Рисунок 10.9 - Команда «формат» оси в контекстном меню



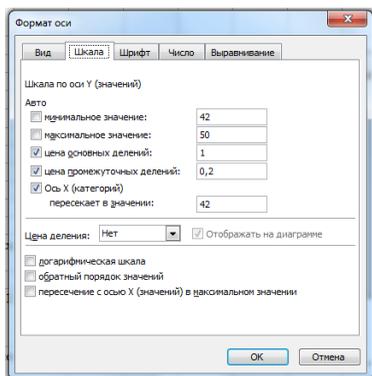


Рисунок 10.10 - Редактирование оси шкалы Y



Рисунок 10.11 - Редактирование области построения диаграммы

Установим минимальное и максимальное значения на шкалах, так чтобы в этот диапазон укладывались все данные столбца. Сделаем целой цену основных делений (рис. 10.10). Установим обычную заливку (бесцветную) области диаграммы (рис. 10.11, 10.12 , 10.13).

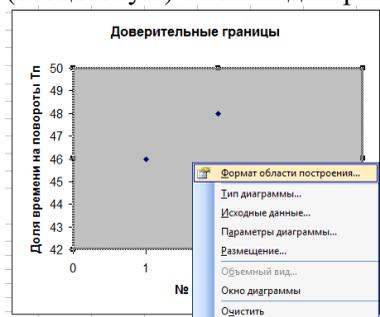


Рисунок 10.12-Контекстное меню области построения диаграммы

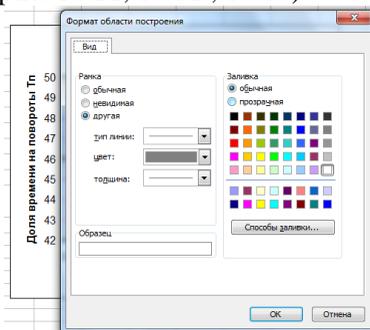


Рисунок 10.13-Выбор заливки области построения диаграммы

Исходные данные первого столбца изображены на диаграмме и готовы к первичной обработке. Значения доверительных границ в программе Excel высчитываются автоматически. Для отображения доверительных границ на диаграмме подведем курсор к любой из точек и правой кнопкой мыши вызываем контекстное меню, в котором выбираем пункт «Формат данных» (рис. 10.14). В этом окне открываем вкладку «Y-погрешности». В пункте «Показать планки погрешностей по Y» нажимаем кнопку «Обе», далее устанавливаем величину погрешностей в *стандартных отклонениях* и задаем величину – в данном случае *I* (рис. 10.15).

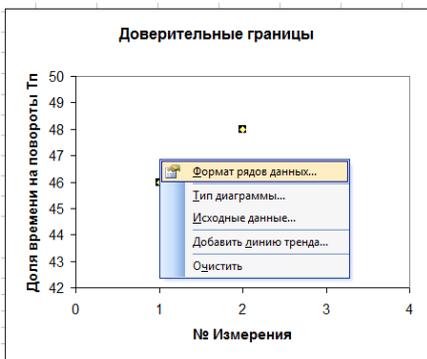


Рисунок 10.14-Пункт контекстного меню «формат рядов данных»

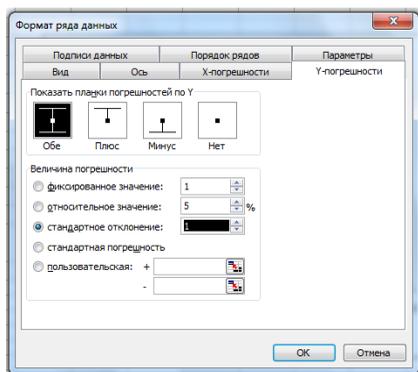


Рисунок 10.15-Вкладка Y-погрешности

В первом опыте все точки лежат в пределах доверительных границ (рис. 10.16). Аналогичным образом, диаграмму с доверительными границами строим для каждого столбца данных (опыта). В десятом опыте точка со значением «2» выходит за пределы доверительных границ (рис. 10.17). Это значение считаем неправдоподобным и исключаем из таблицы данных.

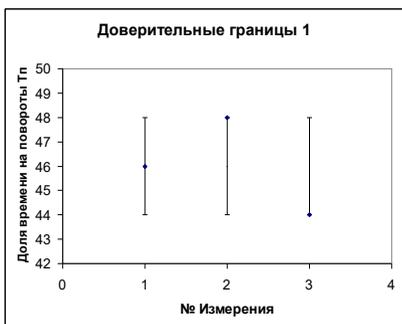


Рисунок 10.16-Доверительные границы 1-го опыта

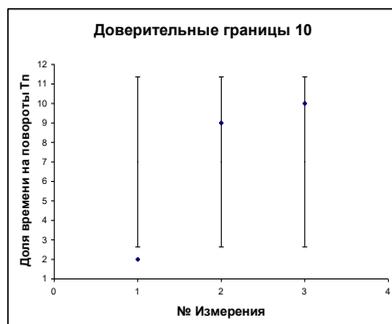


Рисунок 10.17- Доверительные границы 10-го опыта

Далее находим средние значения исследуемой величины. Копируем исходную таблицу, удаляем из нее точки не укладывающиеся в доверительные границы (рис. 10.18). Добавляем в таблицу строчку средних значений «Т_{пер}, %». Для этого нажимаем правой кнопкой мыши на номер строки ниже вставляемой и в появившемся контекстном меню выбираем команду «Добавить ячейки» (рис. 10.19).

	№ опыта										№ Изм.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
238											
239											
240	Тп, %	46	28	20	18	14	13	9	11	8	1
241		48	29	24	17	15	14	11	10	9	2
242		44	30	22	19	16	12	13	9	10	3
243	г, м	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000

Рисунок 10.18-Значение 1-го измерения в 10-ом опыте удалено

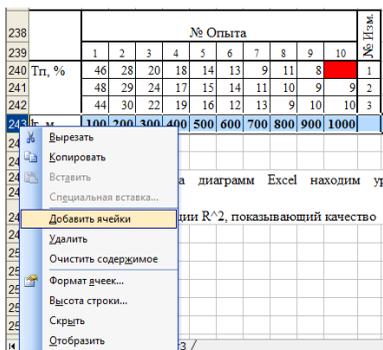


Рисунок 10.19-Добавление строки среднего значения

Выделяем все данные и строчку под ними от верхнего левого до нижнего правого угла (рис. 10.20). Для вычисления средних значений в меню кнопки «Автосумма» выбираем пункт «Среднее» (рис. 10.21).

	№ опыта										№ Изм.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
238											
239											
240	Тп, %	46	28	20	18	14	13	9	11	8	1
241		48	29	24	17	15	14	11	10	9	2
242		44	30	22	19	16	12	13	9	10	3
243	Тспр, %										
244	г, м	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000

Рисунок 10.20-Выделение диапазона данных

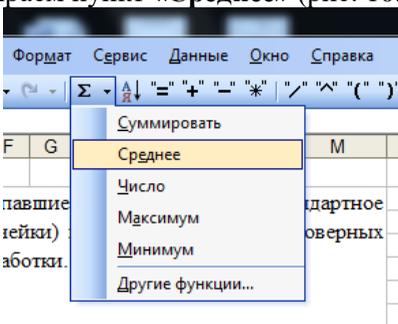


Рисунок 10.21-Вычисление среднего значения

На этом первичная обработка данных заканчивается.

Две нижние строчки – средних значений исследуемой величины «Тспр, %» и значений фактора «г, м» являются исходными данными для регрессионного анализа (рис. 10.22).

	№ опыта										№ Изм.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
238											
239											
240	Тп, %	46	28	20	18	14	13	9	11	8	1
241		48	29	24	17	15	14	11	10	9	2
242		44	30	22	19	16	12	13	9	10	3
243	Тспр, %	46	29	22	18	15	13	11	10	9	9,5
244	г, м	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000

Рисунок 10.22-Исходные данные для регрессионного анализа

Для этого строим точечную диаграмму $Tncp=f(l_2)$ (рис. 10.23). На втором шаге построения диаграммы, во вкладке «Ряд» нажимаем кнопку «Добавить» (рис. 10.24).

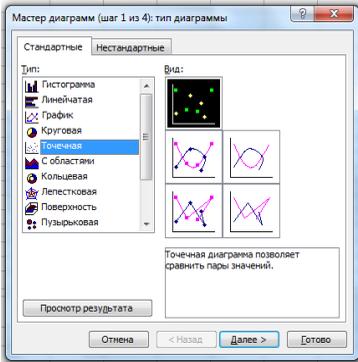


Рисунок 10.23-Выбор типа диаграммы

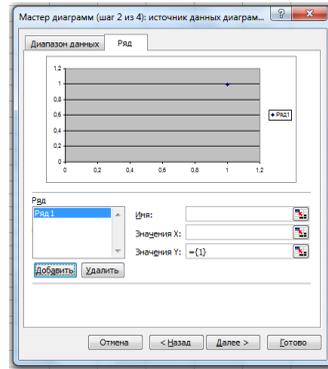


Рисунок 10.24 - Добавление рядов данных

Далее, нажав на кнопку в конце окна «Значения X», выделяем строчку фактора l_1 (рис. 10.25), нажав на кнопку в конце окна «Значения Y», выделяем строчку средних значений $Tncp$ (рис. 10.26).

	№ Опыта										№ Изм.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
238											
239											
240	Тп, %	46	28	20	18	14	13	9	11	8	1
241		48	29	24	17	15	14	11	10	9	2
242		44	30	22	19	16	12	13	9	10	3
243	Тср, %	46	29	22	18	15	13	11	10	9	9,5
244	l, м	100	200	300	400	500	600	800	900	1000	

Рисунок 10.25-Данные по оси X

	№ Опыта										№ Изм.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
38											
39											
40	Тп, %	46	28	20	18	14	13	9	11	8	1
41		48	29	24	17	15	14	11	10	9	2
42		44	30	22	19	16	12	13	9	10	3
43	Тср, %	46	29	22	18	15	13	11	10	9	9,5
44	l, м	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000

Рисунок 10.26-Данные по оси Y

Разместим и отредактируем область диаграммы как в предыдущем случае (рис. 10.27).

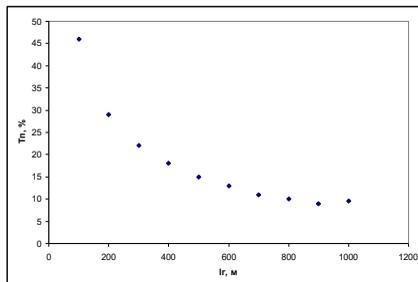


Рисунок 10.27-Экспериментальные точки подлежащие аппроксимации

По изображенным на диаграмме данным программа Excel может автоматически подобрать уравнение регрессии и построить его график (линию тренда). Для этого на диаграмме подведем курсор к любой из точек и правой кнопкой мыши вызываем контекстное меню, в котором выбираем пункт «Добавить линию тренда» (рис. 10.28). Во вкладке «Тип» выбираем вид аппроксимирующей зависимости. Судя по расположению точек, линейная форма нам не подойдет. Выбираем полиномиальную второй степени (рис. 10.29).

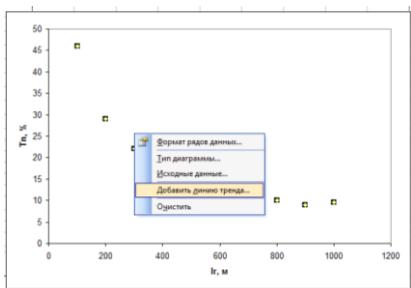


Рисунок 10.28-Пункт «Добавить линию тренда» в контекстном меню

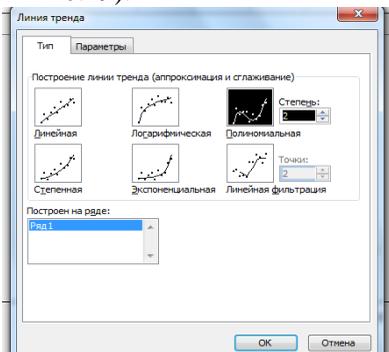


Рисунок 10.29-Выбор формы и степени аппроксимирующей зависимости

Во вкладке «**Параметры**» устанавливаем галочки напротив пунктов «Показать уравнение на диаграмме» и «Поместить на диаграмму величину достоверности аппроксимации R^2 » (рис. 10.30). Линия тренда, искомое уравнение регрессии и коэффициент детерминации, показывающий степень точности аппроксимации, будут изображены на диаграмме (рис. 10.31).

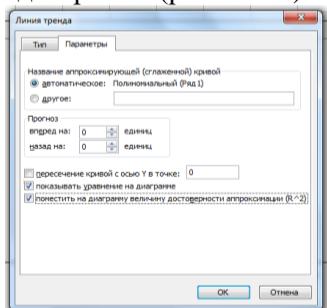


Рисунок 10.30-Задаем отображение уравнения регрессии и степени точности аппроксимации

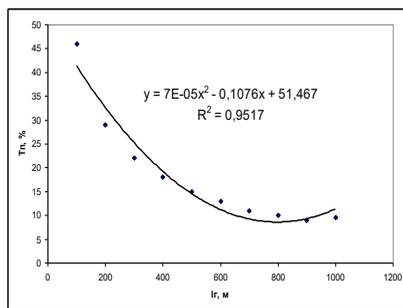


Рисунок 10.31-Результаты регрессионного анализа

Практическое занятие №11

Расчет парной корреляции

Простейшей, но информативной характеристикой связи двух случайных величин X и Y является *коэффициент корреляции*. Эта величина определяется в теории вероятностей с помощью других вероятностных числовых характеристик. В данном практическом занятии мы ограничимся перечислением основных свойств коэффициента корреляции и способов расчета, базирующихся на экспериментальных результатах.

Приведем три важнейших свойства коэффициента корреляции, которые доказаны в теории вероятностей.

1. Всегда $|\rho_{XY}| \leq 1$, т. е. абсолютная величина коэффициента корреляции не превышает единицы.
2. Для независимых величин $|\rho_{XY}| = 0$.

Если величины X и Y связаны функциональной линейной зависимостью, то $|\rho_{XY}| = 1$. Иначе говоря, если $|\rho_{XY}| = 1$, то

$$Y = K \cdot X + B;$$

где K и B – некоторые постоянные.

Коэффициент корреляции является удобной характеристикой взаимосвязи двух переменных величин X и Y . Чем ближе к нулю величина ρ_{XY} , тем больше нерегулярный разброс значений величины Y при любом фиксированном значении X . Напротив, если коэффициент ρ_{XY} близок к единице, то зависимость $Y(X)$ можно приближенно считать линейной.

Кроме того, знак коэффициента корреляции однозначно определяет характер зависимости $Y(X)$. Если $\rho_{XY} > 0$, то величины X и Y одновременно возрастают или убывают (с точностью до случайных погрешностей). Если $\rho_{XY} < 0$, то с ростом X величина Y убывает или с уменьшением X величина Y растет.

Таким образом, численное значение коэффициента корреляции характеризует, насколько взаимосвязь между исследуемыми величинами X и Y близка к *линейной* зависимости. Абсолютная величина

$|\rho_{xy}|$ будет уменьшаться при отклонении зависимости $Y(X)$ от линейной, даже если переменные связаны не стохастически, а строго функционально. Следовательно, использование коэффициента корреляции эффективно для исследования таких зависимостей, чья близость к линейной заранее обоснована теоретически.

Целесообразность применения коэффициента корреляции связана также с тем, что в первом приближении многие сложные зависимости полагаются линейными.

Теоретико-вероятностное определение коэффициента корреляции не пригодно для практических вычислений. Экспериментатор не имеет в своем распоряжении теоретическую информацию о распределении вероятностей исследуемых величин и случайных погрешностей. Поэтому вместо точного значения коэффициента корреляции ρ_{xy} приходится вычислять его приближенное значение (оценку), пользуясь результатами измерений величин X и Y .

Пусть в эксперименте было проведено N измерений каждой из изучаемых величин X и Y и получены N пар числовых значений:

$$x_i, y_i; i = 1, \dots, N.$$

Наилучшим приближенным значением коэффициента корреляции, которое можно вычислить с помощью результатов измерений, является величина R , выражаемая следующей формулой:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}},$$

где \bar{x} и \bar{y} - средние статистические результатов измерений x_i и y_i соответственно:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i.$$

Пример. Для демонстрации работы с оценкой коэффициента корреляции рассмотрим следующий пример.

В эксперименте исследуется столкновение двух стальных шаров, подвешенных на нитях одинаковой длины. Первый шар отклоняется так, что его нить составляет угол φ с вертикалью, и отпускается с нулевой начальной скоростью (рис. 11.1).

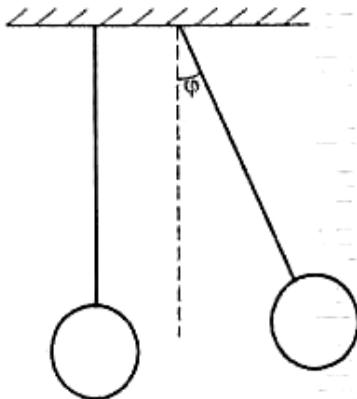


Рисунок 11.1 - Схема столкновения упругих шаров

Попытаемся ответить на вопрос: зависит ли время столкновения от начального угла отклонения? Под временем столкновения понимается интервал времени, в течение которого шары, упруго деформируясь, пребывают в контакте. Лабораторная установка позволяет измерять этот интервал времени с точностью до микросекунды.

Пусть в эксперименте было измерено время столкновения T для интервала начальных углов φ от 5 до 15 градусов. Для каждого угла φ время столкновения T измерялось 6 раз и вычислялось среднее значение. Полученные числовые значения сведены в табл. 11.1.

На первый взгляд, с уменьшением угла φ время соударения изменяется весьма хаотично. Для выяснения наличия или отсутствия взаимосвязи величин φ и T следует, прежде всего, рассчитать коэффициент корреляции.

Таблица 11.1 – Результаты измерений

Начальный угол отклонения φ (град)	Время столкновения T (мкс)	Начальный угол отклонения φ (град)	Время столкновения T (мкс)
15	133,2	9	139,3
14	134	8	125
13	143,7	7	110,7
12	135,8	6	130,7
11	134,2	5	100
10	135,4		

Сначала по данным табл. 11.1 вычисляются средние значения угла начального отклонения и времени столкновения:

$$\bar{\varphi} = 10 \text{ (град)}, \quad \bar{T} = 129,3 \text{ (мкс)},$$

затем - три суммы, необходимые для вычисления величины R :
Подставляя вычисленные суммы

$$\sum_{i=1}^{11} (\varphi_i - \bar{\varphi})(T_i - \bar{T}) = 294,7 \text{ (град. мкс)}$$

$$\sum_{i=1}^{11} (\varphi_i - \bar{\varphi})^2 = 110 \text{ (град}^2\text{)}, \quad \sum_{i=1}^{11} (T_i - \bar{T})^2 = 1673 \text{ (мкс}^2\text{)}.$$

в формулу для вычисления величины R , получим приближенный коэффициент корреляции:

$$R = 0,687.$$

Принято считать:

при R близком к 0 – связь отсутствует;

при $R = 0,2 \dots 0,3$ малая связь;

при $R = 0,4 \dots 0,6$ средняя связь;

при $R = 0,7 \dots 0,9$ сильная связь.

Полученное значение существенно отличается от нуля. Следовательно, мы приходим к выводу, что взаимосвязь исследуемых величин существует.

Практическое занятие №12

Составление и обработка вариационных рядов

12.1 Теоретическое введение

При изучении множества однородных объектов относительно некоторого характерного признака (количественного или качественного) обычно подвергается изучению некоторое его подмножество случайно отобранных объектов, называемое *выборкой*. Множество объектов, из которого производится выборка, называется *генеральной совокупностью*. Объекты выборки (генеральной совокупности) называются *единицами выборки* (совокупности). Число единиц выборки (совокупности) определяет их объем.

Основа применения выборочного метода - утверждения, содержащиеся в теоремах Чебышева и Ляпунова. Эти теоремы устанавливают возможность по характеристикам выборки судить о характеристиках генеральной совокупности.

При использовании выборочного метода принципиально важным является для каждой единицы генеральной совокупности равновозможность быть выбранной. При этих условиях с увеличением объема выборки ее характеристики стремятся к характеристикам генеральной совокупности. В реальных условиях всегда приходится иметь дело с ограниченными по объему выборками и, как следствие, в результатах обработки экспериментов всегда в большей или меньшей степени содержится элемент случайности. Очевидно, методика обработки экспериментальных данных в каждом случае должна быть такой, чтобы элемент случайности свести к минимуму, получить наиболее приемлемые характеристики изучаемого явления, процесса, представимые в простой аналитической или иной форме. Каждый элемент статистической совокупности (выборки) характеризуется определенными свойствами-признаками. Отдельное значение признака называется *вариантой*, а последовательность вариантов, расположенных в возрастающем порядке, *вариационным рядом*. Вариационный ряд - следствие варьирования признаков элементов выборки - проявления их дисперсии (изменчивости). Число n_i , показывающее, сколько раз варианта x_i встречается в выборке объема N , называется ее *абсолютной частотой*.

Относительная частота варианты v_i , определяется как

$$v_i = n_i / N.$$

Варианты и соответствующие им частоты (абсолютные или относительные) образуют статистическое распределение выборки, которое обычно задается следующим образом, например:

Варианта	2	7	9	13		
Абсолютная частота	1	3	6	8		$\Sigma = 22$
Относительная частота	0,045	0,136	0,272	0,363	0,181	

Выберем прямоугольную систему координат и нанесем точки (x_i, n_i) или (x_i, v_i) , соединив которые отрезками прямых, получим ломаную линию, называемую *полигоном распределения*, или *полигоном частот* (рис. 12.1).

Выше приведен вариационный ряд в дискретной форме. Отдельные значения варианты отличаются одна от другой на конечную величину (дискретная варианта). Если значения варианты по физическому смыслу отличаются одно от другого на сколь угодно малую величину, имеем дело с непрерывной вариантой. Для такой варианты вариационный ряд может быть также представлен в дискретной форме, если ее измерения (регистрация) проводятся в дискретные моменты времени. Однако для непрерывных вариантов вариационные ряды обычно записывают в интервальной форме. Такой ряд представляет собой последовательность интервалов и соответствующих им частот. Построение его осуществляют следующим образом: интервал, в котором заключены все варианты, делят на несколько частичных интервалов длиной l_i , и определяют для каждого из них сумму частот n_i , вариант, оказавшихся в i -м интервале. Теперь частоты относятся не к отдельным вариантам, а к интервалам. Если все интервалы имеют одинаковую длину $l_i = l$, то варианты, им соответствующие, называются *равноотстоящими* и их численные значения определяются точками, являющимися серединами частичных интервалов. При подсчете частот в частичных интервалах частоты вариант, попавших на границы двух интервалов, делят между этими интервалами пополам.

Число интервалов для данной выборки не следует принимать слишком большим, так как в этом случае в каждом интервале окажется мало наблюдений и закономерность четко не проявится. При малом числе интервалов могут не проявиться особенности распределения.

Для определения оптимальной длины интервала используют формулу

$$l \approx \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + 3,2 \lg N},$$

где x_{\max} и x_{\min} – соответственно наибольшее и наименьшее значение варианты в выборке.

Рассмотрим пример. Пусть для выборки $N=100$ получены следующие результаты.

Значение варианты	Абсолютная частота	Значение варианты	Абсолютная частота	Значение варианты	Абсолютная частота
200	1	224	2	242	5
204	3	226	4	245	5
206	3	229	3	248	4
209	4	230	8	252	2
210	2	233	4	253	2
213	4	235	4	255	3
215	6	236	6	257	2
218	4	238	3	259	3
221	5	240	6	260	2

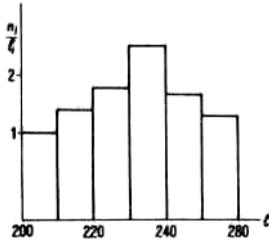


Рис. 12.1. Полигон частоты

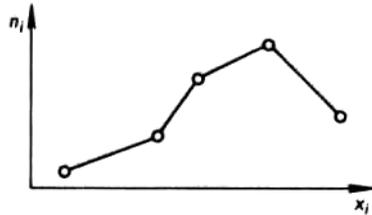


Рис. 12.2. Гистограмма распределения

Разделив интервал 200-260 на частичные интервалы $l = 10$, получим ряд для равноотстоящих вариантов:

Частичный интервал	200 - 210	210 - 220	220-230	230-240	240-250	250-260
Равноотстоящие варианты	205	215	225	235	245	255
Сумма частот	12	15	18	24	17	14
Плотность частот	1,2	1,5	1,8	2,4	1,7	1,4

Выбрав прямоугольную систему координат, отложив по оси абсцисс частичные интервалы и построив на каждом из них как на основании прямоугольники высотой n_i / l_i или n_i / v_i получим гистограмму

распределения для интервального ряда (рис. 12.2). Площадь каждого прямоугольника равна частоте варианты в данном интервале; каждая ордината - частота, приходящаяся на единицу измерения варианты. Площадь всей гистограммы, очевидно, равна сумме всех частот - объему выборки. Если по оси ординат отложены плотности относительных частот, то площадь гистограммы будет равна единице. При увеличении числа наблюдений относительные частоты стремятся к соответствующим вероятностям, а график - гистограмма к кривой плотности распределения.

При построении гистограммы предполагалось, что плотности частот неизменны в каждом из интервалов. Однако можно предположить, что они изменяются равномерно от интервала к интервалу. Используя это предположение, интервальный ряд непрерывной варианты графически можно представить в виде полигона. В этом случае по оси абсцисс откладываются частичные интервалы и отмечают равноотстоящие варианты. Из точек, им соответствующих, восстанавливают перпендикуляры, пропорциональные плотности частоты, конечные точки последних соединяют отрезками прямых. В результате получаем представление интервального ряда в виде полигона. В этом случае частота на выбранном интервале определяется как площадь, ограниченная длиной интервала, граничными ординатами и частью полигона, заключенной между ними.

В заключение заметим, что вариационные ряды величин, дискретных по физическому смыслу, также можно представлять в интервальной форме, рассматривая такое представление как чисто технический прием.

Ранее были рассмотрены числовые характеристики случайных величин: математическое ожидание, дисперсия, начальные и центральные моменты. По данным наблюдений (исследований) можно получить аналогичные эмпирические характеристики для распределений статистических совокупностей.

Аналогично математическому ожиданию случайной величины для статистического распределения вводится среднее арифметическое выборки:

$$\bar{x} = \sum_i x_i / N.$$

Если отдельные варианты в выборке повторяются, то, учитывая частоту каждой такой варианты, получим:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i n_i}{\sum n_i}; \quad \sum n_i = N.$$

Взвешенное среднее арифметическое n_i (абсолютные частоты) выступает в качестве весов соответствующих вариантов.

Аналогично дисперсии вводится статистическая дисперсия

$$\bar{D}^* = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}.$$

Рассеивание оценивается статистическим средним квадратическим отклонением

$$\sigma_x^* = \sqrt{D_x^*} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}}.$$

Для рядов распределения σ_x^* определяется как взвешенный показатель

$$\sigma_x^* = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 n_i}{N}}.$$

Числовые характеристики имеют следующие свойства.

Если все веса (частоты) умножить на одно и то же число, то \bar{x} и σ_x^* не изменятся.

Если варианты выборки умножить на одно и то же число α , то \bar{x} умножится на это число, а σ_x^* умножится на модуль этого числа:

$$d\bar{x} = \frac{\sum \alpha x_i}{N};$$

$$\sigma_x^* = \sqrt{\frac{\alpha^2 \sum (x_i - \bar{x})^2}{N}} = |\alpha| \sigma_x^*.$$

Если ко всем вариантам выборки добавить одно и то же число A , то \bar{x} увеличится на A , а σ_x^* не изменится:

$$\bar{x} + A = \frac{\sum_i (x + A)}{N} ;$$

$$\sigma_x^* = \sqrt{\frac{\sum_i [(x + A) - (\bar{x} + A)]^2}{N}} .$$

4. Дисперсия равна среднему квадрату без квадрата средней

$$D_x^* = \frac{\sum_i x_i^2}{N} - (\bar{x})^2 ,$$

а для рядов распределения как взвешенный показатель

$$D_x^* = \frac{\sum_i x_i^2 n_i}{N} - (\bar{x})^2 .$$

Это свойство позволяет упростить вычисления дисперсий для рядов распределения - вместо вычислений квадратов отклонений от средней вычисляются квадраты вариантов.

Рассмотрим, как связаны между собой формулы, определяющие m_x и \bar{x} . Запишем

$$m_x = x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_k p_k ;$$

$$\bar{x} = x_1 \frac{n_1}{N} + x_2 \frac{n_2}{N} + \dots + x_k \frac{n_k}{N} ,$$

где n_1/N ; n_2/N ; ...; n_k/N относительные частоты.

В различных сериях испытаний относительные частоты появления тех или иных значений вариант будут получаться различными. Следовательно, будут различными и взвешенные средние арифметические \bar{x} . Выше отмечалось, что в больших сериях испытаний относительная частота появления каждого значения случайной величины становится устойчивой, то есть практически все время находится вблизи некоторого постоянного числа, называемого *вероятностью данного значе-*

ния случайной величины. Таким образом, в больших сериях испытаний относительные частоты значений случайной величины будут группироваться около соответствующих им вероятностей, а средние арифметические - около математического ожидания. Итак, для исследуемой случайной величины в каждой серии испытаний будем получать различные значения \bar{x} . Если серии испытаний большие, то все различные значения \bar{x} практически будут находиться вблизи некоторого постоянного для данной случайной величины числа m_x . Математическое ожидание случайной величины m_x - это как бы «истинное» среднее ее значение. Заменяя число m_x полученными из опытов средними значениями \bar{x} , мы всякий раз допускаем некоторую ошибку, которая по своей природе также случайная величина. Среднее квадратическое значение этой ошибки называют *срединной ошибкой* и обозначают m .

Аналогично σ_x^* - среднее квадратическое отклонение от вычисленного нами (с ошибкой) среднего значения \bar{x} , а можно рассматривать σ_x - среднее квадратическое отклонение значений случайной величины от «истинного» среднего значения x . Средние квадратические отклонения σ_x^* и σ_x мало отличаются одно от другого. Доказано, что

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 n_i}{N - 1}} .$$

Срединная ошибка вычисляется по формуле

$$m = \sigma_x / \sqrt{N}.$$

В больших сериях испытаний, с которыми обычно приходится иметь дело, полагают $\sigma_x^* \approx \sigma_x$ и вычисляют срединную ошибку по формуле

$$m = \sigma_x^* / \sqrt{N}.$$

В малых сериях ($N < 20$) испытаний приходится брать более точное значение σ_x , и поэтому срединная ошибка вычисляется по формуле

$$m = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 n_i}{(N-1)N}}.$$

Для оценки точности вычисления среднего арифметического удобно сравнивать допущенную срединную ошибку m с величиной среднего арифметического, определяя относительную срединную ошибку в процентах

$$\alpha_0 = \frac{m}{\bar{x}} 100 \%.$$

Определим необходимое количество испытаний для обеспечения необходимой точности среднего значения.

Запишем эмпирический коэффициент вариации

$$V_x^* = \frac{\sigma_x^*}{\bar{x}} 100 \%.$$

Запишем относительную срединную ошибку

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_x^*}{\bar{x} \sqrt{N}}$$

Следовательно, α_0 уменьшается с увеличением числа испытаний N , последнее управляется экспериментатором. Коэффициент вариации зависит от природы случайной величины. Разделив V_x^* на α_0 , получим

$$V_x^* / \alpha_0 = \sqrt{N}$$

Отсюда

$$N = \left(\frac{V_x^*}{\alpha_0} \right)^2.$$

Эта формула устанавливает связь между числом испытаний, коэффициентом вариации и относительной срединной ошибкой.

Пример. Коэффициент вариации ряда $V^*_x = 4 \%$. Сколько нужно провести испытаний, чтобы срединная ошибка при вычислении \bar{x} была не более $\alpha_0 = 0,4 \%$.

$$N = \left(\frac{4}{0,4} \right)^2 = 100.$$

Необходимо провести не менее 100 испытаний.

12.2 Техника получения вариационных рядов и методика их обработки

При исследовании различных динамических или иных процессов, протекающих при работе дорожных и мелиоративных машин, агрегатов, электрических машин, непрерывная регистрация их осуществляется с помощью осциллографов и разного рода самопишущих приборов. Для извлечения необходимой научной информации из таких записей процесса необходимо произвести их обработку в соответствии с целями и задачами исследований. Часто в задачи исследования входит определение статистических характеристик процесса: среднего значения, среднего квадратического отклонения, закона распределения и др. В таких случаях обработка записи процесса сводится к построению интервального ряда распределения исследуемой величины. Наиболее распространенные методы построения таких рядов - методы ординат и пик.

Рассмотрим технику получения вариационного ряда методом ординат.

На ленту с записью процесса накладывают тонкую пластину из прозрачного материала с нанесенной на ней сеткой. Горизонтальные линии на оси ординат образуют частичные интервалы, рекомендуемая длина каждого из которых (в мм) $1/8$ или $1/10$ наибольшего размаха кривой. Вертикальные линии делят абсциссу кривой на равные промежутки, количество которых устанавливают по возможности наибольшим, что увеличивает точность обработки записи.

Для получения вариационного ряда совмещают нулевую линию сетки с нулевой линией записи процесса, находят точки пересечения вертикалями сетки кривой процесса и определяют число точек в каждом частичном интервале.

Для получения численного значения равноотстоящей варианты в ее единицах измерения необходимо ординату в мм, соответствующую

центру данного частичного интервала, умножить на масштаб записи процесса.

Пример. В качестве примера рассмотрим вариационный ряд, полученный при обработке диаграммы тягового сопротивления прицепной машины.

Номер частичного интервала	4	5	6	7	8	9	10	11
Равноотстоящие варианты, Н	1300	1800	2300	2800	3300	3800	4300	4800
Сумма частот	3	7	23	31	27	12	6	2
Плотность частот, %	0,6	1,4	4,6	6,2	5,4	2,4	1,2	0,4
Относительная частота, %	2,7	6,3	20,72	27,93	24,32	10,81	5,4	1,8

Используя первые три строки, составим вспомогательную таблицу для определения средней арифметической и среднего квадратического отклонения данного ряда (табл. 12.1).

Таблица 12.1 – Вспомогательная таблица

№ интервала	Значения варианты x_i	Частота, n_i	$x_i n_i$	$z_i = \pm(x_i - \bar{x})$	z^2	$n_i z^2$
4	1300	3	3 900	-1640	2689600	8068800
5	1800	7	12 600	-1140	1299600	9097200
6	2300	23	52 900	-640	409600	9420800
7	2800	31	86 800	-140	19600	607600
8	3300	27	89 100	360	129600	2499200
9	3800	12	45 600	860	739600	8875200
10	4300	6	25 800	1360	1849600	11097600
11	4800	2	9 600	1860	3459600	6919200

$$N = \sum n_i = 111$$

$$\sum x_i n_i = 326300$$

$$\sum n_i z_i^2 = 57585600$$

Используя суммы строк третьего и четвертого столбцов, найдем среднее арифметическое

$$\bar{x} = \frac{\sum_i x_i n_i}{\sum_i n_i} = \frac{326300}{111} \approx 2940 \text{ Н.}$$

По сумме строк третьего и последнего столбцов найдем среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_x^* = \sqrt{\frac{\sum_i n_i z_i^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{57585600}{110}} \approx 723,5 \text{ Н.}$$

Неравномерность тягового сопротивления оценивается коэффициентом вариации

$$V_x^* = \frac{\sigma_x^*}{\bar{x}} 100 \% = \frac{723,5}{2940} 100 \% \approx 24,6 \%$$

Определим срединную ошибку

$$m = \frac{\sigma_x^*}{\sqrt{N}} = \frac{723,5}{\sqrt{111}} = \pm 68,7 \text{ Н.}$$

В процентах по отношению к \bar{x}

$$\alpha_o = \frac{m}{\bar{x}} 100 \% = \frac{68,7}{2940} 100 \% = 2,3 \%$$

Если необходимо вычислить среднее арифметическое с большей точностью, например в 2 %, то число необходимых наблюдений (число вертикалей в сетке) определяется по формуле

$$\tilde{N} = \left(\frac{V_x^*}{\alpha_o} \right)^2 = \left(\frac{24,6}{2} \right)^2 \approx 150.$$

При обработке силовых кривых для получения достаточной точности обычно берут не менее 100 ординат за опыт с шагом 2 мм.

Практическое занятие №13

Изучение принципов построения международной системы классификации изобретений

Для классифицирования и систематизации объектов промышленной собственности существуют международные системы классификаций: для классифицирования изобретений используют Международную патентную классификацию (МПК), для классифицирования промышленных образцов - Международную классификацию промышленных образцов (МКПО); для регистрации товарных знаков - Международную классификацию товаров и услуг (МКТУ).

Например, на каждом описании изобретения отечественного фонда проставлен индекс МПК.

Для проведения патентного поиска, прежде всего, следует провести **классифицирование предмета поиска**, предмета исследования.

Международная патентная классификация охватывает все области знаний, которые могут содержать охраноспособные объекты - объекты, подлежащие защите охраняемыми документами. Построена МПК по функционально-отраслевому принципу. Один и тот же объект может относиться и к классу, соответствующему отраслевой принадлежности, и к функциональному классу, соответствующему принципу действия объекта.

Оказывается, МПК является основой:

- для избирательного распределения патентной информации среди ее потребителей;
- для определения уровня техники в отдельных областях;
- для получения статистических данных в области промышленной собственности, что в свою очередь позволяет определять уровень развития различных отраслей техники (по количеству патентов в одной рубрике можно судить об интенсивности развития данной области техники).

С 1 января 2006 г. вступила в силу 8-я редакция МПК, сокращенно обозначаемая как МПК-8 или МПК с указанием в скобках года последнего изменения. Несмотря на то, что эта редакция в целом базируется на предыдущих редакциях и ранее используемых принципах построения, в нее добавлены существенно новые элементы, а также существенно изменился способ ее использования.

Восьмая редакция МПК разделена на два уровня – базовый (укрупненный) и расширенный (более подробный).

Базовый уровень включает в себя только наиболее крупные руб-

рики МПК: разделы, классы, подклассы и основные группы (около 18000 рубрик).

Расширенный уровень, включающий в себя полностью рубрики базового уровня, представляет собой его детализацию, включая соответственно все подгруппы МПК.

Базовый уровень применяется для классифицирования патентных документов в национальных коллекциях сравнительно небольшого объема, а также для некоторых общих целей: избирательного распределения информации, комплектования тематических подборок, публикации в бюллетенях и т. п.

Расширенный уровень применяется для детального классифицирования и более дифференцированного поиска патентных документов.

Для визуального различения результатов классифицирования до документов с помощью каждой из новых версий МПК вводится различное графическое представление индексов. Так, **индексы базового уровня** печатаются обычным шрифтом, **индексы расширенного уровня** - курсивом. Все индексы записываются в табличной форме (в одной или более колонках) по одному в каждой строке. В начале приводятся индексы, представляющие информацию об изобретении (печатаются жирным шрифтом); индекс, наиболее полно отражающий сущность изобретения, ставится на первом месте. Индексы классификации, представляющие дополнительную информацию к предмету изобретения, следуют за индексами информации об изобретении и печатаются обычным (нежирным) шрифтом. В случае наличия индексов кодирования они даются в самом конце. Указатель версии для базового уровня помещается в круглых скобках после аббревиатуры «МПК». Указатель версии для расширенного уровня помещается на документе в круглых скобках после каждого классификационного индекса и индекса кодирования с помощью указания даты (года и месяца), когда был введен в действие данный индекс.

Результаты классифицирования по расширенному и базовому уровню выглядят следующим образом:

Расширенный уровень:	Базовый уровень:
(51) МПК	(51) МПК (2006)
<i>B65G 15/16</i> (2006.01)	B65G 15/10
<i>F27B 21/06</i> (2007.06)	F27B 21/10
<i>G01G 13/08</i> (2007.04)	G01G 13/00

Международная патентная классификация имеет иерархическую структуру, т. е. представляет собой иерархическую систему классификации. Принцип иерархии: два уровня МПК — базовый и расширенный. Тематика нижестоящей рубрики МПК является частью тематики более высокой по иерархии рубрики, которой подчинена данная нижестоящая рубрика. Иерархия структуры МПК выражается в разбивке всех областей знаний на несколько иерархических уровней. В нисходящем порядке эти **уровни иерархии соответствуют разделам, классам, подклассам, основным группам и подгруппам.**

МПК разделена на **восемь разделов.**

Индекс раздела представляет собой заглавную букву латинского алфавита от А до Н.

Разделы МПК имеют следующие названия:

- А. УДОВЛЕТВОРЕНИЕ ЖИЗНЕННЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА.**
- В. РАЗЛИЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ; ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ.**
- С. ХИМИЯ; МЕТАЛЛУРГИЯ.**
- Д. ТЕКСТИЛЬ; БУМАГА.**
- Е. СТРОИТЕЛЬСТВО; ГОРНОЕ ДЕЛО.**
- F. МЕХАНИКА; ОСВЕЩЕНИЕ; ОТОПЛЕНИЕ; ДВИГАТЕЛИ И НАСОСЫ; ОРУЖИЕ; БОЕПРИПАСЫ; ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ.**
- G. ФИЗИКА.**
- Н. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО.**

Внутри разделов родственные классы условно объединяются в **подразделы**, которые не обозначаются индексами.

Например: в разделе В «РАЗЛИЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ; ТРАНСПОРТ ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ» имеются подразделы:

- разделение и смешивание;
- формование;
- полиграфия;
- транспортирование;
- микроструктурные технологии; нанотехнологии.

Каждый раздел делится на **классы**. Индекс класса состоит из индекса раздела и двузначного числа. Например, в подразделе «Поли-

графия» находится класс В43 Письменные, чертежные и канцелярские принадлежности.

Каждый класс содержит один или более **подклассов**.

Индекс подкласса состоит из индекса класса и заглавной буквы латинского алфавита. Например: В43К Письменные и чертежные принадлежности.

Заголовок подкласса с максимальной точностью определяет содержание подкласса.

Каждый подкласс разбит на подразделения, которые именуется **группами** или «дробными рубриками». Среди дробных рубрик различают основные группы и подгруппы.

Индекс группы МПК состоит из индекса подкласса, за которым следуют два числа, разделенные наклонной чертой.

Индекс основной группы состоит из индекса подкласса, за которым следует одно-, двух- или трехзначное число, наклонная черта и два ноля. Например: В43К 1/00 Перья; пишущие наконечники.

Текст основной группы определяет область техники, которая считается целесообразной для проведения поиска.

Подгруппы образуют рубрики, подчиненные основной группе.

Индекс подгруппы состоит из индекса подкласса, за которым следует одно-, двух- или трехзначное число основной группы, которой подчинена данная подгруппа, наклонная черта и, по крайней мере, две цифры, кроме 00. Например: В43К 1/02.

Текст подгруппы понимается всегда в пределах объема ее основной группы и определяет тематическую область, в которой считается наиболее целесообразным проведение поиска. Перед текстом подгруппы ставится одна или более точек, которые определяют степень ее подчиненности, то есть указывают на то, что подгруппа является рубрикой, подчиненной ближайшей вышестоящей рубрике, напечатанной с меньшим сдвигом и имеющей на одну точку меньше.

Индексы	Элемент структуры МПК
В	Раздел
В43	Класс
В43К	Подкласс
В43К 1/00	Основная группа
В43К 1/02	Подгруппа

Задание. С помощью раздаточного материала или сайта ФИПС (<http://www.fips.ru/>) изучить содержимое разделов **А** и **В** МПК. Клас-

сифицировать объекты по теме «Ручные инструменты для сборки или разборки деталей с прессовой посадкой».

Практическое занятие №14

Алгоритм проведения патентного поиска с использованием сайта [fips.ru](http://www.fips.ru)

Сайт <http://www.fips.ru/> [9] является официальным Интернет-сайтом Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный институт промышленной собственности» (ФИПС).

На данном сайте размещена вся официальная информация касающаяся интеллектуальной собственности - деятельность Федерального института промышленной собственности, нормативные документы, формы документов, размеры пошлин, в частности, базы данных, по которым можно самостоятельно провести патентный поиск.

Отечественные изобретения и полезные модели

На сайте ФИПС в разделе «[Информационные ресурсы](#)» предоставляется бесплатный доступ к следующим источникам информации:

- БД рефератов российских патентных документов на русском и английском языках с 1994 г. по н.в.
- БД перспективных изобретений
- БД рефератов полезных моделей

В этих базах данных можно провести поиск охранных документов РФ по различным реквизитам (ключевым словам темы, индексу МПК, автору, номеру документа и др.). Доступ к БД осуществляется в разделе «[Информационно-поисковая система](#)».

- [Официальные бюллетени «Изобретения. Полезные модели»](#), доступ к которым предоставляется в разделе «[Официальные публикации](#)».
- [Открытые реестры](#) изобретений и полезных моделей.
- [Международная патентная классификация](#) (МПК).

На сайте ФИПС в разделе «Информационные ресурсы» предоставляется платный доступ к следующим источникам информации:

- БД полные описаний патентов и заявок на изобретения РФ с 1994 г. по н.в.
 - БД полных описаний авторских свидетельств и патентов на изобретения СССР / РФ с 1924 по 1993 гг.
 - БД полных описаний к полезным моделям РФ с 1994 г. по н.в.
- Условия доступа к этим БД в разделе «Информационные ресурсы» → «[Услуги](#)» → [Доступ через INTERNET к базам данных](#).

Зарубежные изобретения и полезные модели

Поиск зарубежных патентных документов можно провести в поисковых системах с русскоязычным интерфейсом: ru.espacenet.com, patentscope, eapatis.com.

Ссылки к источникам информации о зарубежных патентных документах, размещенным в Интернете (поисковые системы, официальные бюллетени, информация о правовом статусе охранных документов, системы классификаций, действующее законодательство), Вы можете найти в [Путеводителе по фондам ВПТБ и Интернет-ресурсам](#).

Адреса зарубежных патентных ведомств, организаций и БД в Интернете Вы можете найти на сайте ФИПС в разделе «[Ссылки](#)».

Патентный поиск на сайте ФИПС можно провести различными способами. Рассмотрим на примере один из них.

На рисунке 14.1 изображена главная страница сайта ФИПС.

На этой странице нужно выбрать раздел «ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВАЯ СИСТЕМА».

В стартовом окне «ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВОЙ СИСТЕМЫ» (рисунок 14.2) можно прочитать условия доступа к платным и бесплатным базам данных.

Для поиска в БД просто нажмите на кнопку «Перейти к поиску», вход в поисковую систему (ИПС) осуществляется без ввода логина/пароля. По умолчанию доступен только [ограниченный набор баз данных](#). Для получения доступа ко всем БД необходимо [зарегистрироваться](#), произвести [оплату по карте](#) или банковским платежом.

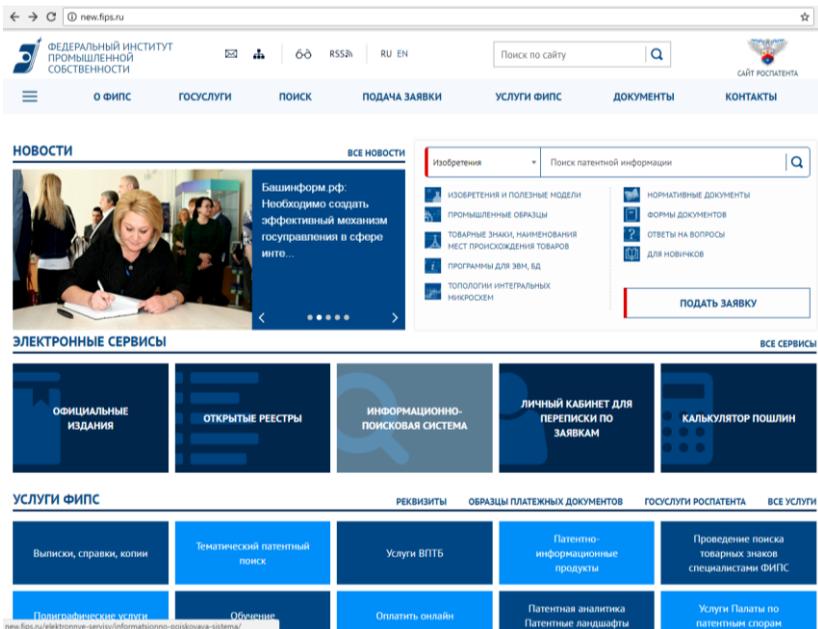


Рисунок 14.1 - главная страница сайта ФИПС.

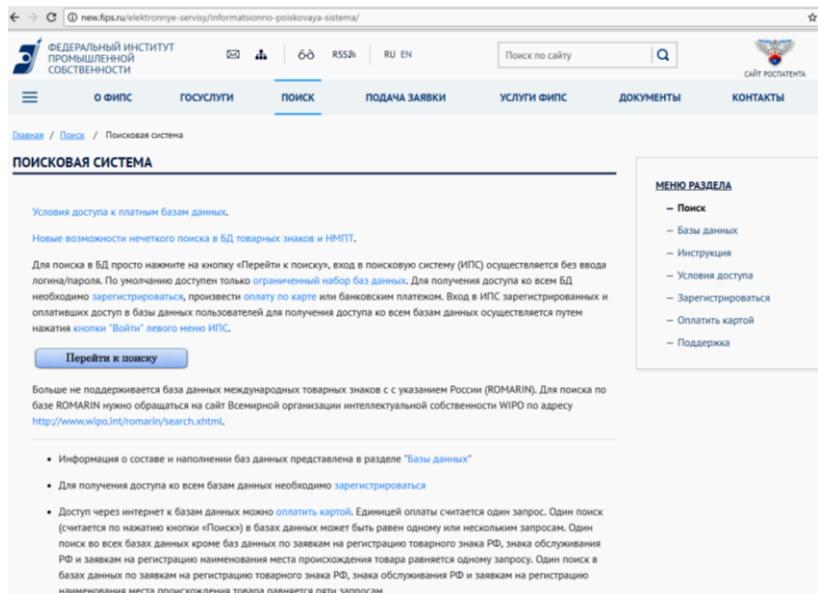


Рисунок 14.2 – Стартовое окно «ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВОЙ СИСТЕМЫ»

Вход в ИПС зарегистрированных и оплативших доступ в базы данных пользователей для получения доступа ко всем базам данных осуществляется путем нажатия [кнопки "Войти" левого меню ИПС](#).

Для примера проведем поиск по ограниченным бесплатным базам данных. Для этого нажмем кнопку «Перейти к поиску». В открывшемся окне (рисунок 14.3) выберем базы данных «Патентные документы РФ (рус.)».

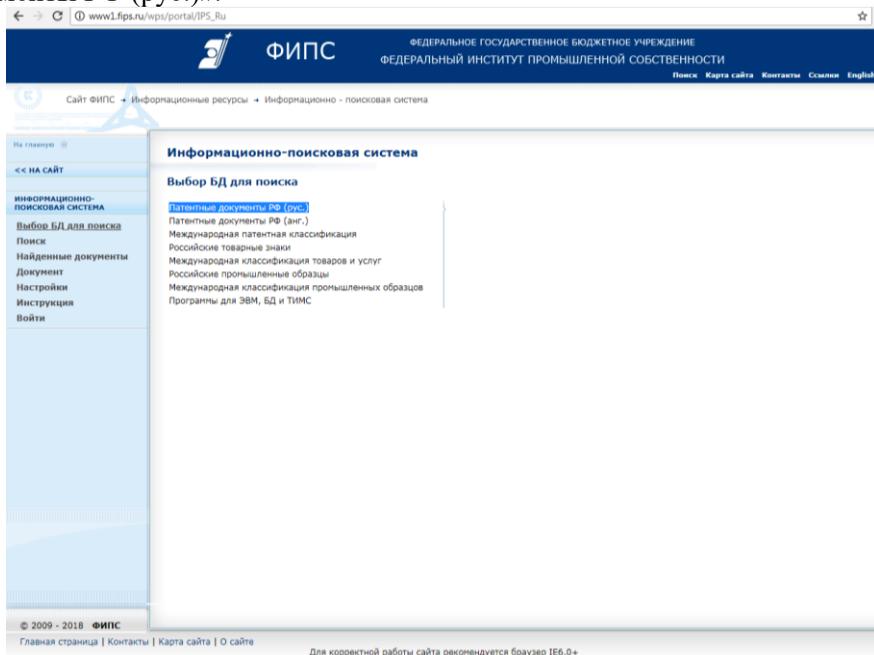


Рисунок 14.3 –Выбор базы данных

В следующем окне (рисунок 14.4) выделим галочкой пункт «Полные тексты российских изобретений из трех последних бюллетеней» и нажмем кнопку «Перейти к поиску» в правой части экрана.

В окне поиск (рисунок 14.5) можно производить поиск патентных документов по различному принципу – ключевым словам, названию, номеру документа, авторам и т.д.

Наберем в окне «Основная область запроса» ключевое слово «Съемник» и нажмем кнопку «Поиск».

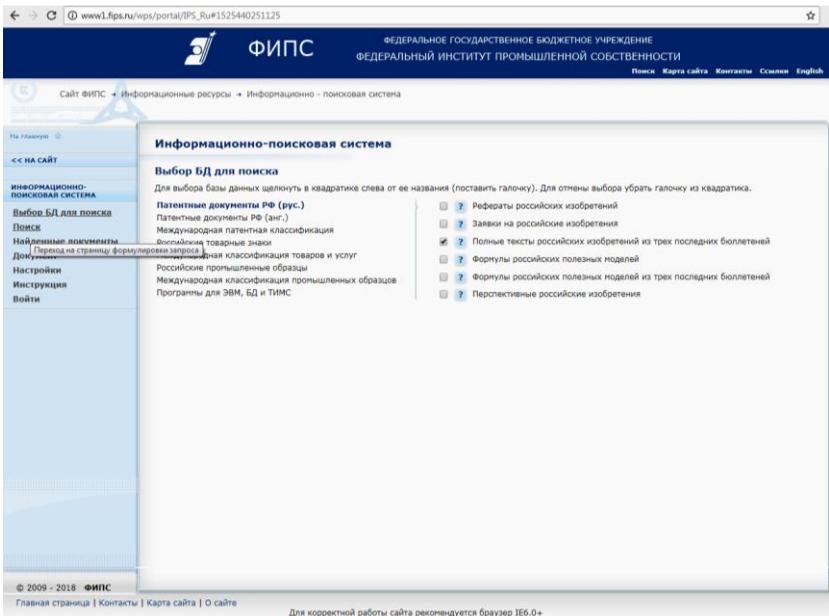


Рисунок 14.4 - База данных «Патентные документы РФ (рус.)»

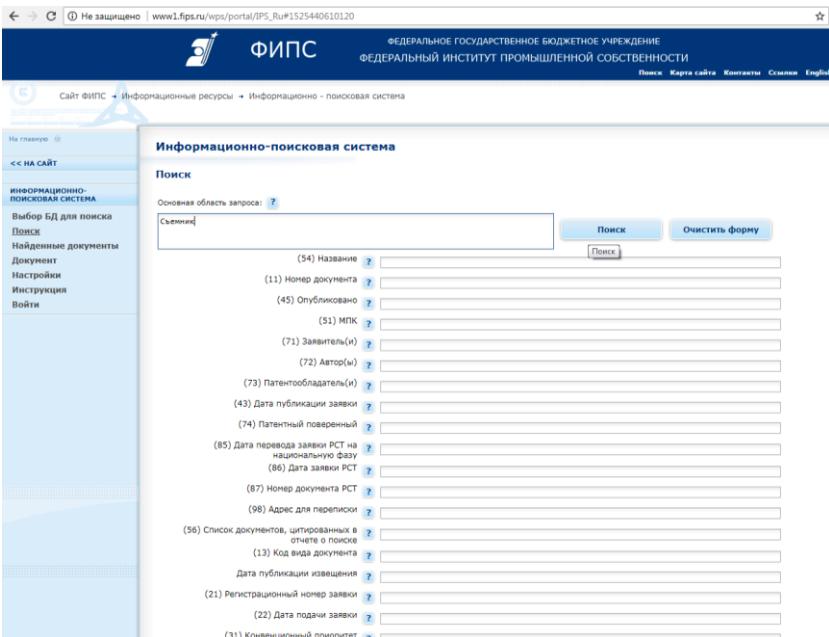


Рисунок 14.5 – Окно «Поиск»

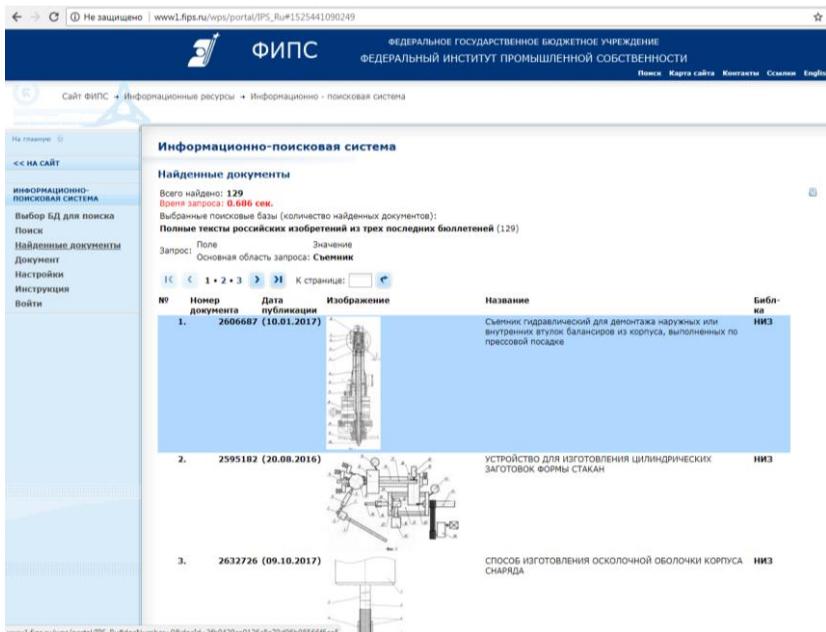


Рисунок 14.6 – Окно «Найденные документы»

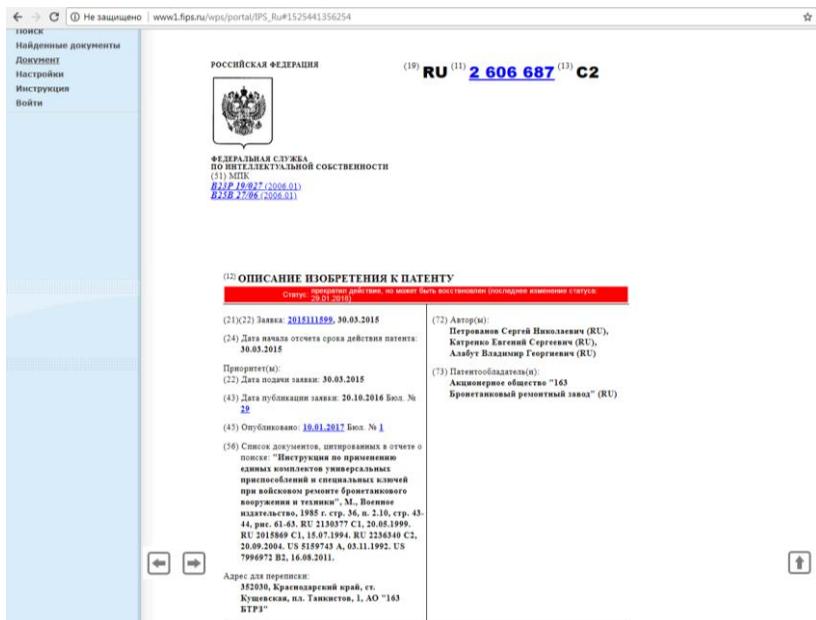


Рисунок 14.7 – Полнотекстовый документ

Появится окно с найденными по данному запросу документами (рисунок 14.6).

Выберем, например, первый из них и получим доступ к полнотекстовому документу (рисунок 14.7).

Практическое занятие №15

Изучение комплекта документов для подачи заявки на изобретение и полезную модель

Патентование можно разделить на 4 этапа:

1. Составление заявки на получение патента и подача заявки в патентное ведомство.
2. Проведение формальной экспертизы.
3. Проведение экспертизы заявки по существу.
4. Выдача патента.

Оформление заявки на выдачу патента и дальнейшее взаимодействие с патентным ведомством может осуществлять как сам заявитель – физическое или юридическое лицо, так и его представитель или патентный поверенный.

При подготовке заявки необходимо руководствоваться §5 Главы 72 ГК РФ и соответствующими [административными регламентами](#), которые можно найти на сайте <http://www.fips.ru/>.

15.1 Основные этапы оформления заявки

1. Определить (ориентировочно) **вид заявляемого объекта техники** (способ, устройство, вещество) и **название предполагаемого изобретения**.

2. Исходя из технической сущности изобретения, составить тематический рубрикатор, затем определить индексы Международной патентной классификации (МПК) изобретения с использованием алфавитно-предметного указателя (АПУ).

3. Из базы данных ФИПС (<http://www.fips.ru/>) и других источников патентно-технической информации **отобрать аналоги и подвергнуть их анализу**. Выбрать не менее трех аналогов, из числа которых наиболее близкий по использованию взять за прототип изобретения.

4. **Составить вводную часть описания изобретения**, для чего:

- уточнить и привести **название изобретения** в соответствии с рубриками МПК **определить область техники**, к которой относится изобретение, указать, где и для чего оно может найти применение,

- поочередно кратко охарактеризовать **отобранные аналоги** и указать их недостатки,

- привести достаточно развернутую **характеристику прототипа**, указать на его недостатки, подчеркивая при этом, чем эти недостатки обусловлены,

- сформулировать **задачу изобретения** - дать краткую **характеристику технической сущности изобретения** в совокупности его существенных признаков.

5. Изготовить чертежи и иные графические материалы, причем каждому из них дать название, а позиции чертежей пронумеровать, например – «на фиг. 1 изображен общий вид устройства».

6. Составить **основную часть описания изобретения**, для чего:

- дать детальное описание изобретения с обязательными ссылками на фигуры чертежей и позиции изображенных на них элементов, указывая их в порядке возрастания или ссылаясь на показатели таблиц;

- привести **конкретные примеры осуществления изобретения**;

- доказать наличие причинно – следственной связи между признаками изобретения и достигаемым техническим результатом.

7. Указать технический результат изобретения.

8. Проверить, имеются ли нарушения принципа единства изобретения и принципа единства терминологии, а также соответствие используемой технической терминологии общепринятой терминологии.

9. Составить **формулу изобретения** по форме:

- название изобретения, ограничительная часть - совокупность существенных признаков прототипа и таких же признаков предполагаемого изобретения, слова «отличающееся тем, что», затем отличительная часть - совокупность новых существенных признаков предполагаемого изобретения.

Формула изобретения - одно предложение.

10. Подготовить **чертежи и иные графические материалы**, таблицы, графики, причем, каждому из них дать название, а позиции чертежей пронумеровать.

11. Произвести взаимную корректировку формулы и описания.

12. Составить **реферат изобретения** по форме:

- указать название изобретения,

- изложить текст реферата, а именно: к чему относится изобретение, область техники, на что направлено, технический результат изобретения. Указанный технический результат достигается тем, что ..., привести совокупность существенных признаков изобретения в объеме формулы.

13. Оформить материалы заявки по следующим правилам:

- **текстовая часть заявки:**

формат 210*297 мм,

поля: верхнее - не менее 20 мм,

правое и нижнее – не менее 20 мм,

левое – не менее 25 мм,

текст печатается через 1,5 интервала с высотой заглавных букв не менее 2,1 мм.

- **графические материалы:** чертежи выполняются схематично,

размер используемой площади листа 262*170 мм,

высота цифр и букв не менее 3,2 мм,

поля: верхнее и левое – не менее 25 мм,

правое – не менее 15 мм,

нижнее – не менее 10 мм,

на **каждом листе чертежей** указывается название изобретения, под каждой фигурой чертежа указывается номер фигуры, все детали и элементы чертежей нумеруются.

Заполнить **заявление** на выдачу патента РФ.

15.2 Состав заявки на изобретение

В соответствии с пунктом 2 статьи 1375 Кодекса заявка должна содержать:

заявление о выдаче патента на изобретение с указанием автора изобретения и лица, на имя которого испрашивается патент (заявителя), а также их места жительства или места нахождения;

описание изобретения, раскрывающее его с полнотой, достаточной для осуществления;

формулу изобретения, выражающую его сущность и полностью основанную на его описании;

чертежи и иные **материалы**, если они необходимы для понимания сущности изобретения;

реферат.

15.3 Состав заявки на полезную модель

В соответствии с пунктом 2 статьи 1376 Кодекса заявка должна содержать:

заявление о выдаче патента с указанием автора полезной модели и лица, на имя которого испрашивается патент (заявителя), а также место жительства или место нахождения каждого из них;

описание полезной модели, раскрывающее ее с полнотой, достаточной для осуществления;

формулу полезной модели, выражающую ее сущность и полностью основанную на описании;

чертежи, если они необходимы для понимания сущности полезной модели;

реферат.

15.4 Документы, прилагаемые к заявке

(1) В соответствии с пунктом 5 статьи 1374 Кодекса к заявке прилагается документ, подтверждающий уплату патентной пошлины в установленном размере, или документ, подтверждающий основания освобождения от уплаты патентной пошлины, либо уменьшения ее размера, либо отсрочки ее уплаты;

(2) В соответствии с пунктом 3 статьи 1382 Кодекса заявитель, желающий воспользоваться правом конвенционного приоритета в отношении заявки, должен представить в Роспатент заверенную копию первой заявки в течение шестнадцати месяцев со дня ее подачи в патентное ведомство государства - участника Парижской конвенции по охране промышленной собственности.

Если первых заявок несколько, прилагаются копии всех этих заявок, которые представляются в течение 16 месяцев с наиболее ранней даты подачи этих заявок.

Представление заверенной копии приоритетной заявки может быть заменено указанием цифровой библиотеки ведомства, в котором размещена электронная копия приоритетной заявки, если упомянутое ведомство обеспечивает доступ к ней Роспатента.

При испрашивании конвенционного приоритета по заявке, поступившей по истечении 12 месяцев с даты подачи первой заявки, но не позднее двух месяцев по истечении 12-месячного срока, к заявке прилагается документ с указанием не зависящих от заявителя обстоятельств, воспрепятствовавших подаче заявки в указанный 12-месячный срок, и подтверждением наличия этих обстоятельств, если нет оснований предполагать, что они известны Роспатенту.

Просьба об установлении конвенционного приоритета может быть представлена при подаче заявки (приводится в соответствующей графе заявления о выдаче патента на изобретение) или не позднее 16 месяцев с даты подачи первой заявки.

Формы заявлений о выдаче патента на изобретение и полезную модель размещены на сайте <http://www.fips.ru/>.

Задание. Пользуясь примерами патентных документов изучить перечень и содержание документов, входящих в состав заявки на изобретение (полезную модель).

Практическое занятие №16

Составление описания и формулы изобретения

16.1 Описание изобретения

Назначение описания. Описание должно раскрывать изобретение с полнотой, достаточной для его осуществления.

Структура описания. Описание начинается с названия изобретения. В случае установления рубрики действующей редакции Международной патентной классификации (далее - МПК), к которой относится заявляемое изобретение, индекс этой рубрики приводится перед названием.

Описание содержит следующие разделы:

- область техники, к которой относится изобретение;
- уровень техники;
- раскрытие изобретения;
- краткое описание чертежей (если они содержатся в заявке);
- осуществление изобретения;
- перечень последовательностей (если последовательности нуклеотидов и/или аминокислот использованы для характеристики изобретения).

Порядок изложения описания может отличаться от приведенного выше, если, с учетом особенностей изобретения, иной порядок способствует лучшему пониманию и более краткому изложению.

Название изобретения. Название изобретения должно быть кратким и точным. Название изобретения, как правило, характеризует его назначение и излагается в единственном числе.

Содержание разделов описания.

Область техники, к которой относится изобретение. В разделе описания "Область техники, к которой относится изобретение" указывается область применения изобретения. Если таких областей несколько, указываются преимущественные.

Уровень техники. В разделе "Уровень техники" приводятся сведения об известных заявителю аналогах изобретения с выделением из них аналога, наиболее близкого к изобретению (прототипа).

В качестве аналога изобретения указывается средство того же назначения, известное из сведений, ставших общедоступными до даты приоритета изобретения.

При описании каждого из аналогов непосредственно в тексте приводятся библиографические данные источника информации, в котором он раскрыт, признаки аналога с указанием тех из них, которые совпадают с

существенными признаками заявляемого изобретения, а также указываются известные заявителю причины, препятствующие получению технического результата, который обеспечивается изобретением.

После описания аналогов в качестве наиболее близкого к изобретению указывается тот, которому присуща совокупность признаков, наиболее близкая к совокупности существенных признаков изобретения.

Раскрытие изобретения. Сведения, раскрывающие сущность изобретения.

Сущность изобретения как технического решения выражается в совокупности существенных признаков, достаточной для достижения обеспечиваемого изобретением технического результата.

Признаки относятся к *существенным*, если они влияют на возможность получения технического результата, т.е. находятся в причинно-следственной связи с указанным результатом.

Технический результат представляет собой характеристику технического эффекта, явления, свойства и т.п., объективно проявляющихся при осуществлении способа или при изготовлении либо использовании продукта, в том числе при использовании продукта, полученного непосредственно способом, воплощающим изобретение.

Технический результат может выражаться, в частности, в снижении (повышении) коэффициента трения; в предотвращении заклинивания; снижении вибрации и т.п.

Технический результат выражается таким образом, чтобы обеспечить возможность понимания специалистом на основании уровня техники его смыслового содержания.

В данном разделе подробно раскрывается задача, на решение которой направлено заявляемое изобретение, с указанием обеспечиваемого им технического результата.

Приводятся все существенные признаки, характеризующие изобретение; выделяются признаки, *отличительные* от наиболее близкого аналога, при этом указываются совокупность признаков, обеспечивающая получение технического результата во всех случаях, на которые распространяется испрашиваемый объем правовой охраны, и признаки, характеризующие изобретение лишь в частных случаях, в конкретных формах выполнения или при особых условиях его использования.

Краткое описание чертежей. В этом разделе описания приводится перечень фигур с краткими пояснениями того, что изображено на каждой из них.

Осуществление изобретения. В этом разделе показывается, как может быть осуществлено изобретение с реализацией указанного за-

явителем назначения, предпочтительно, путем приведения примеров, и со ссылками на чертежи или иные графические материалы, если они имеются.

В данном разделе приводятся также сведения, подтверждающие возможность получения при осуществлении изобретения того технического результата, который указан в разделе описания "Раскрытие изобретения". В качестве таких сведений приводятся объективные данные, например, полученные в результате проведения эксперимента, испытаний или оценок, принятых в той области техники, к которой относится заявленное изобретение или теоретические обоснования, основанные на научных знаниях.

Например, для изобретения, относящегося к устройству, приводится описание его конструкции (в статическом состоянии и лишь с указанием возможности движение) и действие устройства (работа) или способ использования со ссылками на фигуры чертежей. ... имеет рычаг установленный на оси с возможностью вращения, а не ... рычаг вращающийся на оси.

16.2 Формула изобретения

Формула изобретения предназначается для определения объема правовой охраны, предоставляемой патентом.

Формула изобретения должна быть полностью основана на описании, т.е. характеризуемое ею изобретение должно быть раскрыто в описании, а определяемый формулой изобретения объем правовой охраны должен быть подтвержден описанием.

Формула изобретения должна выражать сущность изобретения, т.е. содержать совокупность его существенных признаков, достаточную для достижения указанного заявителем технического результата.

Формула может быть однозвенной и многозвенной и включать, соответственно, один или несколько пунктов.

Формула включает признаки изобретения, в том числе родовое понятие, отражающее назначение, с которого начинается изложение формулы, и состоит, как правило, из **ограничительной части**, включающей признаки изобретения, совпадающие с признаками наиболее близкого аналога, и **отличительной части**, включающей признаки, которые отличают изобретение от наиболее близкого аналога.

При составлении пункта формулы с разделением на ограничительную и отличительную части после родового понятия, отражающего назначение, вводится выражение "включающий", "содержащий" или "состоящий из", после которого излагается ограничительная часть, затем вводится словосочетание "отличающийся тем, что", непосредственно после которого излагается отличительная часть.

Формула изобретения составляется без разделения пункта на ограничительную и отличительную части, в частности, если она характеризует:

- индивидуальное химическое соединение;
- штамм микроорганизма, линию клеток растений или животных;
- изобретение, не имеющее аналогов.

16.3 Реферат

Реферат служит для целей информации об изобретении и представляет собой сокращенное изложение содержания описания изобретения, включающее название изобретения, характеристику области техники, к которой относится изобретение, и/или области применения, если это не ясно из названия, характеристику сущности изобретения с указанием достигаемого технического результата.

Сущность изобретения излагается в свободной форме с указанием всех существенных признаков изобретения, нашедших отражение в независимом пункте формулы изобретения. При необходимости в реферате приводятся ссылки на позиции фигуры чертежей, выбранной для опубликования вместе с рефератом и указанной в графе "Перечень прилагаемых документов" заявления о выдаче патента.

Реферат может содержать дополнительные сведения, в частности, указание на наличие и количество зависимых пунктов формулы, графических изображений, таблиц. Рекомендуемый объем текста реферата - до 1000 печатных знаков.

Задание

Пользуясь примерами патентных документов и выше приведенными рекомендациями составить описание и формулу изобретения. В качестве объектов предлагается принять известные устройства, например, велосипед, плуг и т.п. В качестве аналога и прототипа - их более примитивные аналоги, например, самокат, лопата и т.п.

Литература

1. Абомелик Т.П. Методология планирования эксперимента: метод. указ. к лабораторным работам. Ульяновск: УлГТУ, 2011. 38 с.
2. Дивин А.Г., Пономарев С.В., Мозгова Г.В. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учеб. пособие. В 5 ч. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. Ч. 2. 108 с.
3. Методы исследований и организация экспериментов / под ред. К.П. Власова. М.: Изд-во «Гуманитарный Центр», 2002. 256 с.
4. Рыжков И.Б. Основы научных исследований и изобретательства: учеб. пособие для вузов. СПб.: Лань, 2013. 224 с.
5. Пастушенков А.Г. Методы измерения физических величин. Ч. 1. Виды, методы и средства измерений: учеб. пособие. Тверь: Тверской гос. ун-т, 2001. 90 с.
6. Санников Р.Х. Теория подобия и моделирования. Планирование инженерного эксперимента: учеб. пособие. Уфа: УфГНТУ, 2010. 273 с.
7. Тон В.В. Основы научных исследований и испытаний машин и оборудования природообустройства: учеб. пособие. М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2005. 121 с.
8. Фадеев М.А. Элементарная обработка результатов эксперимента: Учебное пособие. СПб: Изд-во «Лань», 2008. 128 с.
9. Сайт Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный институт промышленной собственности» (ФИПС) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fips.ru/>

Учебное издание

Дьяченко Антон Вячеславович

Основы научных исследований и патентование

методические указания
для выполнения практических занятий
и самостоятельной работы
для обучающихся по направлению подготовки
23.03.02 – Наземные транспортно-технологические комплексы

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 05.06.2024 г. Формат 60x84. 1/16.
Бумага офсетная. Усл. п. 6,80. Тираж 25 экз. Изд. № 7681.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365, Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ