



**Некоммерческое
акционерное
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ**

Кафедра
инженерной
кибернетики

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ
для студентов специальности
5В070200 – Автоматизация и управление

Алматы 2015

СОСТАВИТЕЛЬ: С.Г. Хан. Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством. Методические указания по выполнению расчетно-графических работ для студентов всех форм обучения специальности 5В070200 - Автоматизация и управление.- Алматы: АУЭС, 2015.- 43 с.

Методические указания содержат задания и рекомендации по выполнению трех расчетно-графических работ и предполагают самостоятельное изучение и решение задач по обработке результатов однократных прямых и косвенных измерений, стандартной обработке многократных измерений, а также изучение методов оптимизации параметров объектов стандартизации.

Методические указания используются при выполнении расчетно-графических работ по дисциплине «Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством».

Табл. 15, библиогр.- 6 назв.

Рецензент: доцент каф.ИКТ Ю.М. Гармашова

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2015 г.

©НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2015 г.

Содержание

Введение.....	4
1 Расчетно-графическая работа № 1. Стандартная методика статистической обработки результатов многократных измерений.....	5
2 Расчетно-графическая работа № 2. Оценка погрешностей результатов прямых и косвенных измерений.....	12
3 Расчетно-графическая работа № 3. Оптимизация параметров объектов стандартизации.....	21
Приложение А.....	26
Приложение Б.....	37
Приложение В.....	42
Список литературы.....	43

Введение

Дисциплина «Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством» изучается студентами специальности «Автоматизация и управление» на 2 курсе в пакете базовых дисциплин (компонент по выбору), объем 3 кредита. Знания материала данной дисциплины для будущих специалистов (бакалавров, инженеров) технического профиля, связанных с разработкой или обслуживанием различного оборудования или средств измерительной техники, на наш взгляд является обязательными. Рабочая программа дисциплины «Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством» включает большой объем теоретического и практического материала. Однако ограниченность аудиторных часов не позволяет в полной мере изложить необходимую информацию, поэтому большая часть материала изучается студентами в рамках самостоятельной работы, к которой относится выполнение расчетно-графических работ.

Предлагаемые методические указания к выполнению расчетно-графических работ (РГР) составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины и содержат три работы. Первая РГР «Стандартная методика статистической обработки результатов многократных измерений» посвящена вероятностным методам оценки погрешностей многократных измерений и включает решение четырех задач. Вторая РГР «Оценка погрешностей результатов прямых и косвенных измерений» посвящена изучению способов расчета абсолютных, относительных, приведенных основных и дополнительных погрешностей средств измерений и включает решение двух задач по обработке результатов прямых измерений и двух задач по обработке результатов косвенных измерений. Третья РГР «Оптимизация параметров объектов стандартизации» посвящена методам оптимизации параметров объектов стандартизации и включает решение двух задач.

Методические указания содержат три приложения (А, Б, В), в которых содержатся индивидуальные задания по каждой из 10 задач и необходимый справочный материал для их решения. Список необходимой литературы приведен в конце методических указаний.

РГР должны быть выполнены и оформлены в соответствии с требованиями фирменного стандарта Алматинского университета энергетики и связи СТ НАО 56023-1910-04-2014 «Учебно-методические и учебные работы. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию учебно-методических и учебных работ».

1 Расчетно-графическая работа №1. Стандартная методика статистической обработки результатов многократных измерений

Цель работы: изучение вероятностных оценок погрешностей результата измерений и способов статистической обработки результатов многократных измерений.

1.1 Задание №1

1.1.1 Вероятностные оценки погрешности результата измерения.

Цель обработки результатов наблюдений – это установление действительного значения измеряемой величины, которое может быть принято вместо истинного значения измеряемой величины, и степени близости действительного значения к истинному.

Действительное значение неизбежно содержит случайную погрешность. Для количественной оценки случайных погрешностей и установления границ случайной погрешности результата измерения могут использоваться: *предельная погрешность, интервальная оценка, числовые характеристики закона распределения*. Выбор конкретной оценки определяется необходимой полнотой сведений о погрешности, назначением измерений и характером использования их результатов. Комплексы оценок показателей точности установлены стандартами.

Когда при проведении с одинаковой тщательностью и в одинаковых условиях повторных наблюдений одной и той же постоянной величины получаем результаты, отличающиеся друг от друга, это свидетельствует о наличии в них случайных погрешностей.

Методы теории вероятностей и математической статистики позволяют установить вероятностные (статистические) закономерности появления случайных погрешностей и на основании этих закономерностей дать количественные оценки результата измерения и его случайной погрешности.

Из теории вероятности известно, что оценкой математического ожидания является *среднее арифметическое* результатов отдельных наблюдений - \bar{X}

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1.1)$$

где x_i - i -й результат наблюдения;

n - число результатов наблюдений.

Оценка дисперсии ряда наблюдений S^2 рассчитывается по формуле

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

Среднее квадратическое отклонение ряда наблюдений S является основной характеристикой размера случайных погрешностей результатов наблюдений. Формула для расчета *оценки среднего квадратического отклонения* σ

$$\sigma = \pm \sqrt{S^2}, \quad (1.2)$$

при $n \rightarrow \infty$ (практически при $n > 30$), $S^2 \rightarrow D$, $S \rightarrow \sigma$.

Для расчета среднего квадратического отклонения результата измерения σ_x используется формула

$$\sigma_x = \frac{1}{\sqrt{n}} \sigma. \quad (1.3)$$

Среднее квадратическое отклонение результата измерения σ_x является основной характеристикой размера случайных погрешностей результата измерений.

Основными понятиями при статистических оценках являются понятия доверительного интервала и доверительной вероятности.

Доверительным интервалом называется интервал, в который с заданной доверительной вероятностью попадают значения случайной величины (погрешности). Доверительный интервал выражается в виде

$$I_p = (\bar{X} - \kappa\sigma; \bar{X} + \kappa\sigma), \quad (1.4)$$

где σ - среднее квадратическое отклонение результата наблюдения;

κ - квантильный множитель, значение которого зависит от выбранного закона распределения случайной погрешности.

Так для равномерного закона распределения $\kappa = \sqrt{3}$ и не зависит от доверительной вероятности. Для нормального закона распределения $\kappa = f(P, n)$ зависит от значения доверительной вероятности P и количества выборочных значений n ; значения κ для наиболее употребительных доверительных вероятностей P и различных n приведены в таблице П1-4-1 [5].

Доверительные границы случайной погрешности Δx , соответствующие доверительной вероятности P , находят по формуле $\Delta x = \pm \kappa\sigma$.

Значение и знак случайной погрешности определить невозможно. Для учета случайной погрешности проводят многократные (статистические) измерения. Оценивая случайную погрешность, говорят об *ожидаемой погрешности*. *Грубая погрешность* – это случайная погрешность, существенно превышающая ожидаемую погрешность при данных условиях. *Промах* – погрешность, которая явно искажает результат измерения. За промах принимают случайную субъективную погрешность экспериментатора.

Доверительному интервалу $\pm 3\sigma$ соответствует $P = 0,997$. Это означает, что практически с вероятностью очень близкой к единице ни одно из возможных значений погрешности при нормальном законе ее распределения не выйдет за границы интервала. Поэтому, при нормальном распределении

погрешностей, принято считать случайную погрешность с границами $\pm 3\sigma$ предельной (максимально возможной) погрешностью. Погрешности, выходящие за эти границы, классифицируют как *грубые или промахи*. Грубые погрешности и промахи обычно исключаются из экспериментальных данных до начала статистической обработки результатов наблюдений.

1.1.2 Задача №1.

В результате проведенных измерений оказалось, что наиболее вероятное содержание кислорода в газовой смеси составляет $X=11,75\%$. Доверительный интервал погрешности измерения определялся для доверительной вероятности $P_1 = 0,683$ и составил $\Delta x_1 = \pm 0,5\% O_2$.

Определить границы доверительного интервала при доверительной вероятности $P_2 = 0,95$, если известно, что закон распределения погрешностей нормальный.

Варианты индивидуальных заданий приведены в Приложении А, таблица А.1.

1.1.2.1 Пример решения задачи №1.

При нормальном законе распределения погрешностей при доверительной вероятности 0,683 доверительные границы случайной погрешности определяют по таблице П1-4-1 [5]: $\Delta x_1 = \pm k\sigma = \pm \sigma = \pm 0,5\%$. При доверительной вероятности 0,95 $\Delta x_2 = \pm k\sigma = \pm 2\sigma$. Таким образом, числовое значение доверительного интервала для доверительной вероятности 0,95 составит $2 \cdot 0,5 = \pm 1\% O_2$. Границы доверительного интервала по (1.4) будут равны

$$I_p = (11,75 \pm 1,0)\% O_2 = (11,75 - 1,0; 11,75 + 1,0)\% O_2 = (10,75 \div 12,75)\% O_2.$$

Ответ: $I_p = (10,75 \div 12,75)\% O_2$.

1.1.3 Задача №2.

Определить границы доверительного интервала погрешности измерения температуры с вероятностью P , если при большом числе измерений были получены среднее арифметическое результата наблюдений \bar{X} и дисперсия S^2 . Предполагается нормальный закон распределения погрешности.

Варианты индивидуальных заданий приведены в Приложении А, таблица А.2.

1.1.4 Задача № 3.

В результате большого числа измерений термо-ЭДС был определен доверительный интервал $I_p = (\bar{X} - A; \bar{X} + B)$, мВ, с доверительной вероятностью P . Определить среднюю квадратическую погрешность σ измерения термо-ЭДС в предположении нормального закона распределения погрешности.

Варианты индивидуальных заданий приведены в Приложении А, таблица А.3.

3.2 Задание №2

3.2.1 Стандартная методика обработки результатов прямых измерений с многократными независимыми наблюдениями.

В измерительной практике для повышения качества измерений часто обращаются к измерениям с многократными наблюдениями, т.е. к повторению одним и тем же оператором однократных наблюдений в одинаковых условиях с использованием одного и того же средства измерения. В результате соответствующей обработки полученных данных удается уменьшить влияние случайной составляющей погрешности на результат измерений. При этом могут быть использованы различные процедуры обработки результатов наблюдений. Ниже описана стандартная методика обработки результатов прямых измерений с многократными, независимыми наблюдениями и основные положения по оцениванию погрешностей результатов измерений. Эта методика соответствует рекомендациям действующего ГОСТ 8.207-76 «Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений».

В соответствии с методикой обработку ряда наблюдений следует выполнять в следующей последовательности [3]:

- а) исключить известные систематические погрешности из результатов наблюдений;
- б) вычислить среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений, принимаемое за результат измерения;
- в) вычислить оценку среднего квадратического отклонения результатов наблюдения;
- г) вычислить оценку среднего квадратического отклонения результатов измерения;
- д) исключить грубые погрешности и промахи из результатов наблюдений;
- е) в случае обнаружения грубых погрешностей и промахов после их исключения, повторить б)-г);
- ж) проверить гипотезу о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению;
- и) вычислить доверительные границы случайной составляющей погрешности результата измерения;
- к) вычислить границы неисключенной систематической погрешности результата измерения;
- л) вычислить доверительные границы погрешности результата измерения;
- м) представить результат измерения в соответствии с установленными требованиями.

При выполнении этой последовательности действий руководствуются следующими правилами:

- проверку гипотезы о принадлежности результатов наблюдений нормальному распределению проводят с уровнем значимости α , выбираемым в диапазоне от 0.02 до 0.1;

- при определении доверительных границ погрешности результата измерения доверительную вероятность P принимают равной 0.95;

- в тех случаях, когда измерение нельзя повторить, помимо границ, соответствующих доверительной вероятности $P=0.95$, допускается указывать границы для $P=0.99$.

1.2.1.1 Исключение систематических погрешностей.

Исключение систематических погрешностей из результатов наблюдений проводится либо расчетным путем, либо по результатам *поверки*. После исключения систематических погрешностей все дальнейшие вычисления проводятся для исправленного ряда наблюдений. В данной задаче считаем систематические погрешности исключенными.

1.2.1.2 Вычисление среднего арифметического ряда наблюдений.

Оценка среднего арифметического ряда наблюдений (результатов наблюдений) рассчитывают по формуле (1.1).

1.2.1.3 Вычисление оценки среднего квадратического отклонения ряда наблюдений.

Оценка среднего квадратического отклонения ряда наблюдений σ рассчитывают по формуле (1.2). Среднее квадратическое отклонение ряда наблюдений σ является основной характеристикой размера случайных погрешностей результатов наблюдений.

1.2.1.4 Определение и исключение грубых погрешностей или промахов.

Исключить из заданной выборки наблюдений те значения, которые выходят за границы $(\bar{X} - 3\sigma; \bar{X} + 3\sigma)$.

1.2.1.5 Вычисление оценки среднего квадратического отклонения результата измерения.

Оценка среднего квадратического отклонения результата измерений σ_x рассчитывают по формуле (1.3).

1.2.1.6 Проверка гипотезы о принадлежности результатов наблюдений нормальному распределению.

Чтобы установить, принадлежат (или не принадлежат) результаты наблюдений тому или иному распределению, необходимо сравнить экспериментальную функцию распределения с предполагаемой теоретической. Сравнение осуществляется с помощью критериев согласия.

В случае проверки принадлежности результатов наблюдений нормальному распределению предпочтительным при числе результатов ≥ 30 является один из критериев χ^2 Пирсона или ω^2 Мизеса-Смирнова. В работе используется критерий Пирсона.

Для проверки принадлежности результатов наблюдений к нормальному распределению с помощью критерия согласия Пирсона необходимо сначала построить гистограмму.

Построение гистограммы включает в себя следующие этапы:

а) исправленные результаты наблюдений располагаются в порядке возрастания x_1, x_2, \dots, x_n , где $x_i \leq x_{i+1}$;

б) вычисляется диапазон изменения значений результатов наблюдений

$$R_n = x_n - x_1;$$

в) весь этот диапазон разбивается на r интервалов одинаковой длины (оценить необходимое количество интервалов можно по правилу $r = 1 + 3,32 * \lg n$ с последующим округлением в большую сторону до ближайшего целого нечетного числа). Обычно r лежит в диапазоне $7 \div 15$;

г) определяется ширина интервала $\Delta = R_n / r = \frac{x_n - x_1}{r}$;

д) определяются границы интервалов $[x_{j-1}, x_j]$ так, чтобы верхняя граница j -го интервала $x_{j\theta} = j * \Delta$, а его нижняя граница совпала с верхней границей $(j-1)$ -го интервала $x_{jн} = x_{(j-1)\theta}$;

е) для каждого j -го интервала ($j=1, 2, \dots, r$) вычисляются числа n_j - частота попадания результата наблюдений в интервал;

ж) строится гистограмма: по оси x в порядке возрастания номеров откладываются интервалы Δ_j , по оси y откладываются n_j -частота попадания результатов наблюдений в j -ый интервал; таким образом, на каждом интервале Δ_j строится прямоугольник, высота которого пропорциональна n_j . По результатам анализа гистограммы высказывается гипотеза о виде закона распределения экспериментальных данных и о численных характеристиках этого закона (для нормального закона такими характеристиками являются математическое ожидание и дисперсия). После этого используют критерий согласия для проверки гипотезы.

Критерий согласия χ^2 Пирсона имеет вид

$$\chi^2 = \sum \frac{(n_j - nP_j)^2}{nP_j}, \quad (1.5)$$

где χ^2 - величина, характеризующая меру отклонения результатов наблюдений от теоретически предсказанных;

n_j - частота попадания результатов наблюдений в j -ый интервал;

P_j - теоретические значения вероятности попадания результатов в j - интервал, которые вычисляются по формуле

$$P_j = \Phi(z_{j\theta}) - \Phi(z_{(j-1)\theta}), \quad (1.6)$$

где $\Phi(z)$ - функция Лапласа, $z_{j\theta} = \frac{x_{j\theta} - \bar{x}}{\sigma_x}$; $P_1 = \Phi(z_{1\theta})$.

Таблица значений функции Лапласа для некоторых z приведена в Приложении А (таблица А.4).

После вычисления значения χ^2 для заданной доверительной вероятности P и числа степеней свободы $\nu = r - k - 1$ (где r - количество разрядов разбиения; k - число параметров, необходимых для определения

теоретической функции распределения, равное для нормального закона распределения двум), по таблицам χ^2 распределения находят критическое значение критерия согласия $\chi_{кр}^2$. В технической практике обычно задаются $P=0,95$, что соответствует вероятности 0,05 совершить ошибку первого рода, т.е. опровергнуть правильную гипотезу. Значения $\chi_{кр}^2$ приведены в Приложении А (таблица А.5).

Если $\chi^2 < \chi_{кр}^2$, принимают гипотезу о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению, характеризующемуся математическим ожиданием и дисперсией, оценки которых получены по формулам (1.1) и (1.3). В противном случае ($\chi^2 \geq \chi_{кр}^2$) гипотеза отвергается.

1.2.1.7 Вычисление доверительных границ случайной погрешности результата измерения.

Доверительные границы ε (без учета знака) случайной погрешности результата измерения находят по формуле

$$\varepsilon = k\sigma_x, \quad (1.7)$$

где k - квантиль множитель, который зависит от доверительной вероятности P и числа наблюдений n .

Значения величины k приведены в Приложении А (таблица А.6).

1.2.1.8 Вычисление границ неисклученной систематической погрешности результата измерения.

Неисклученная систематическая погрешность результата измерения образуется из составляющих, которыми могут быть неисклученные систематические погрешности метода, средств измерений и т.п. За границы составляющих неисклученной систематической погрешности принимают, например, пределы основных и дополнительных погрешностей средств измерений. При суммировании составляющие неисклученной систематической погрешности рассматриваются как случайные величины с равномерными законами распределения. Границы неисклученной систематической погрешности θ результата измерения рассчитываются по формуле

$$\theta = k\sqrt{\sum_{i=1}^m \theta_i^2}, \quad (1.8)$$

где θ_i - граница i -ой неисклученной систематической погрешности;

k - коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью (при $P=0,95$ полагают $k=1,1$).

1.2.1.9 Вычисление доверительных границ погрешности результата измерения.

Доверительная граница погрешности результата измерения устанавливается в зависимости от соотношения $\frac{\theta}{\sigma_x}$.

Если $\frac{\theta}{\sigma_x} < 0,8$, то неисключенными систематическими погрешностями пренебрегают и принимают, что доверительная граница погрешности результата измерения $\Delta = \varepsilon$ (формула 1.7).

Если $\frac{\theta}{\sigma_x} > 8$, то случайной погрешностью пренебрегают и принимают, что доверительная граница погрешности результата измерения $\Delta = \theta$ (формула 1.8).

Если $0,8 \leq \frac{\theta}{\sigma_x} \leq 8$, то доверительные границы погрешности результата измерения вычисляются по формуле

$$\Delta = K \cdot \sigma_{\Sigma}, \quad (1.9)$$

где K - коэффициент, зависящий от соотношения случайной погрешности и неисключенной систематической погрешности;

σ_{Σ} - оценка суммарного среднего квадратического отклонения результата измерения.

Коэффициент K рассчитывается по формуле

$$K = \frac{\varepsilon + \theta}{\sigma_x + \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\theta_i^3}{3}}} . \quad (1.10)$$

Оценка σ_{Σ} осуществляется по формуле

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\theta_i^2}{3} + \sigma_x^2} . \quad (1.11)$$

1.2.2 Варианты заданий.

В соответствии с приведенной выше методикой (п.1.2.1) провести обработку ряда наблюдений.

Варианты индивидуальных заданий приведены в Приложении А, таблица А.7.

2 Расчетно-графическая работа №2. Оценка погрешностей результатов прямых и косвенных измерений

Цель работы: изучение способов расчета основных и дополнительных погрешностей средств измерений, а также результатов однократных прямых и косвенных измерений.

2.1 Задание №1

2.1.1 Прямые однократные измерения.

Подавляющее большинство измерений, выполняемых на практике, являются однократными. Прежде чем выполнить однократное измерение, необходимо выбрать средство измерения, исходя из представления об

условиях проведения измерения, о свойствах измеряемой величины и ее примерном значении, о необходимой точности измерения, а также определяют с помощью какого измерительного прибора, какого типа, какого класса точности, на каком пределе шкалы лучше проводить измерение.

За результат однократного измерения принимают показания средства измерения. Результирующая погрешность однократного измерения в общем случае зависит от целого ряда факторов, в частности, от инструментальной и методической составляющих погрешности, влияния внешних воздействий и т.д. Точность результата прямого измерения при применении измерительного показывающего прибора прямого действия может быть оценена приближенной максимальной (или предельной) погрешностью, определяемой по формуле

$$\delta_n = \pm(\delta_{осн} + \delta_{доп} + \delta_m), \quad (2.1)$$

где $\delta_{осн}$ - пределы допускаемой основной погрешности применяемого измерительного прибора при его эксплуатации в нормальной области значений влияющих величин;

$\delta_{доп}$ - пределы допускаемых дополнительных погрешностей измерительного прибора, определяемые отклонением влияющих величин за пределы, установленные для их нормальных значений или для нормальной области значений;

δ_m - методическая погрешность.

При проведении однократных измерений всегда стремятся поддерживать нормальные условия эксплуатации и выбрать такой способ измерений, чтобы методическая погрешность и субъективные погрешности оказывали минимальное воздействие на результат.

Если однократное измерение правильно организовано, то для представления результатов измерений достаточно, как правило, сведений о показании средства измерений и пределах его допускаемой основной погрешности, для определения которой используется такая метрологическая характеристика, как класс точности средства измерений.

Учет всех нормируемых метрологических характеристик средства измерений (СИ) при оценивании погрешности результата измерений, как видно, сложная и трудоемкая процедура, оправданная при измерениях повышенной точности. При измерениях на производстве, в обиходе такая точность не всегда нужна. В то же время, определенная информация о возможной инструментальной составляющей погрешности измерения необходима. Такая информация дается указанием класса точности средства измерений.

Класс точности – обобщенная метрологическая характеристика (МХ), определяемая пределами основной и дополнительных допускаемых погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на точность. Класс точности - величина безразмерная.

Классы точности присваивают средствам измерений при их разработке на основании исследований и испытаний представительной партии средств измерения данного типа. При этом пределы допускаемых погрешностей нормируют и выражают в форме абсолютных, приведенных или относительных погрешностей, в зависимости от характера изменения погрешностей в пределах диапазона измерений.

От условий применения СИ различают следующие погрешности:

1) *основная погрешность СИ* - погрешность СИ, используемого в нормальных условиях (Н.У.). Под Н.У. применения СИ понимаются условия, при которых влияющие величины (температура окружающего воздуха, барометрическое давление, влажность, напряжение питания, частота тока и т.д.) имеют нормальные значения или находятся в пределах нормальной области значений, а также определенное пространственное их положение, отсутствие вибрации, внешнего электромагнитного поля, кроме земного магнитного поля. Н.У. обычно не являются рабочими условиями применения СИ;

2) под пределом допускаемой *дополнительной погрешности* понимается наибольшая дополнительная погрешность, вызываемая изменением влияющей величины в пределах расширенной области значений (РОЗ), при которой средство измерений может быть признано годным и допущено к применению. В стандартах или технических условиях для каждого вида СИ устанавливают расширенную область значений влияющих величин, в пределах которой значение дополнительной погрешности не должно превышать установленных пределов. Терминам основная и дополнительная погрешности соответствуют фактические погрешности СИ, имеющие место при данных условиях.

От формы представления погрешности различают *абсолютную, относительную и приведенную* погрешности СИ.

Абсолютная погрешность измерительного прибора – разность между показаниями прибора и действительным значением измеряемой величины

$$\Delta = X_n - X_{\text{действ}}, \quad (2.2)$$

$X_{\text{действ}}$ определяется с помощью образцового прибора или воспроизводится мерой.

Относительная погрешность измерительного прибора – отношение абсолютной погрешности измерительного прибора к действительному значению измеряемой величины

$$\delta = \frac{\Delta}{X_o} 100\%. \quad (2.3)$$

Приведенная погрешность измерительного прибора - отношение абсолютной погрешности измерительного прибора к нормирующему значению измеряемой величины

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} 100\%. \quad (2.4)$$

В качестве нормирующего значения X_N используется верхний предел измерения или диапазон измерений измерительного прибора.

Для рассматриваемого способа нормирования погрешностей средств измерений предел допускаемой основной погрешности показаний γ , выраженный в процентах нормирующего значения X_N , совпадает с числом K_L , принимаемым для обозначения класса точности средств измерений. Таким образом, исходя из того, что класс точности численно равен приведенной погрешности, выраженной в процентах, то предел допускаемой основной абсолютной погрешности показаний определяют по формуле

$$\Delta = \pm \frac{K_L \cdot X_N}{100} = \frac{\gamma \cdot X_N}{100}. \quad (2.5)$$

Дополнительные погрешности средств измерений или изменение показаний измерительных приборов, вызываемые изменением i -ой влияющей величины на нормированное отклонение (или в пределах расширенной области), выражаются в виде приведенной погрешности в процентах нормирующего значения X_N и определяются по формуле

$$\delta_{doni} = \frac{100(X_{II} - X_{II.N})}{X_N}, \quad (2.6)$$

где δ_{doni} – предел допускаемой дополнительной погрешности, %;

X_{II} – показание прибора или значение выходного сигнала преобразователя в данной точке шкалы (диапазона преобразования);

$X_{II.N}$ – показание прибора или значение выходного сигнала преобразователя в данной точке шкалы (диапазона преобразования) при нормальном значении или нормальной области значений влияющей величины (принимается за действительное значение).

Если в стандарте или монтажно-эксплуатационной инструкции указывается, что измерительный прибор предназначен для применения в рабочих условиях в расширенной области значений влияющей величины (РОЗ), это означает, что предел допускаемой дополнительной погрешности в пределах этой области нормирован.

2.1.2 Задача №1.

Расширенная область значений влияющих величин (РОЗ): от 0 °С до 50 °С. Нормальные условия (Н.У.): 20 ± 5 °С. Класс точности измерительного прибора равен $K_L=0,5$. Прибор работает при $t_{\text{экспл}} = 40^\circ\text{C}$. Нормированное значение предела допускаемой дополнительной погрешности равно $\delta_{don} = \pm 0,2\%$ на каждые $t_{\text{откл}}=10^\circ\text{C}$ отклонения температуры окружающей среды от нормальной области. Определить погрешность показаний прибора.

Варианты индивидуальных заданий приведены в Приложении Б, таблица Б.1.

2.1.2.1 Пример решения задачи №1.

Погрешность показаний прибора равна

$$\delta_n = \pm(\delta_{осн} + \delta_{дон}).$$

Основная погрешность измерительного прибора $\delta_{осн}$ определяется классом точности измерительного прибора и равна 0,5%.

Для определения дополнительной погрешности найдем отклонение температуры окружающей среды от нормальной области значений $20 \pm 5^\circ\text{C} = (15 \div 25)^\circ\text{C}$: $\Delta t_{окр.среды} = 40 - 25 = 15^\circ\text{C}$.

Дополнительная погрешность измерительного прибора

$$\delta_{доп} = \frac{0,2\% \Delta t_{окр.среды}}{10^\circ\text{C}} = \frac{0,2\% \cdot 15^\circ\text{C}}{10^\circ\text{C}} = \pm 0,3\%.$$

Погрешность показаний прибора

$$\delta_n = \pm(\delta_{осн} + \delta_{доп}) = \pm(0,5 + 0,3)\% = \pm 0,8\%.$$

Ответ: $\delta_n = \pm 0,8\%$.

2.1.3 Задача №2.

Выбрать класс точности и диапазон измерения для заданного средства измерения. Определить результат измерения, если измерение проводилось в нормальных условиях и методическая погрешность была пренебрежительно мала. Результат измерения записать в соответствии с правилами округления. Варианты индивидуальных заданий приведены в Приложении Б, таблица Б.2.

2.1.3.1 Пример решения задачи №2.

Выбрать класс точности и диапазон измерения вольтметра для измерения номинального напряжения 220 В с относительной погрешностью, не превышающей 1%. Записать результат измерения, если вольтметр показал 230 В, измерение проводилось в нормальных условиях и методическая погрешность была пренебрежительно мала.

Решение. Поскольку номинальное значение параметра должно попадать во вторую половину диапазона измерений вольтметра, выбираем вольтметр с диапазоном измерения от 0 В до 300 В. Исходя из приведенного условия, для того чтобы относительная погрешность измерения не превысила 1% необходимо, чтобы модуль абсолютной погрешности измерений не превысил

$$|\Delta x| \leq \frac{\delta_{отн} X_{ном}}{100\%} = \frac{1\% \cdot 220\text{В}}{100\%} = 2,2\text{ В}.$$

Модуль приведенной погрешности вольтметра не может превысить

$$|\gamma_{привед}| = \frac{\Delta x}{X_N} 100\% = 2,2\text{ В} / 300\text{ В} \cdot 100\% = 0,7\%,$$

что соответствует классу точности 0,7. Приборы такого класса точности не выпускаются. Величины класса точности представляют собой числа, выбираемые из ряда (1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6) 10^n , где $n=1; 0; -1; -2$ и т.д. Поэтому выбираем вольтметр класса точности 0,6. Тогда модуль абсолютной погрешности измерений не превысит

$$|\Delta x| \leq \frac{\gamma_{привед} X_N}{100\%} = \frac{0,6\% \cdot 300\text{В}}{100\%} = 1,8\text{ В}.$$

Ответ: $V = (230,0 \pm 1,8)\text{ В}$.

2.2 Задание №2

2.2.1 Методика обработки косвенных однократных измерений.

Косвенные измерения – измерения, при которых искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям

$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_m)$, x_i определяют в ходе прямых измерений.

Другими словами, искомое значение физической величины рассчитывают по формуле, а значения величин, входящих в формулу, получают в ходе прямых измерений.

Например, измерение мощности, рассеиваемой на сопротивлении, может быть выполнено расчетом по формуле $P = I^2 R$ на основании измерения тока I и сопротивления резистора R ; измерение плотности - по массе и объему тела; измерение сопротивления - по напряжению и току и т. д.

Если величины x_i независимы, то зависимость погрешности результат измерения от погрешности исходных величин выражается формулами:

а) абсолютной погрешности

$$\Delta y = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2} ;$$

б) относительной погрешности

$$\delta_y = \pm \frac{\Delta y}{y} 100 = \pm 100 \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2} .$$

2.2.2 Задача №3.

При измерении расхода калориметрическим расходомером измерение мощности нагревателя производится по показаниям амперметра и вольтметра. Оба эти прибора имеют класс точности $K_{\text{л}}=0,5$, работают в нормальных условиях и имеют соответственно шкалы 0-5 А и 0-30 В. Номинальные значения силы тока 3.5 А и напряжения 24 В.

Оценить погрешность, с которой производится измерение мощности. Представить результат измерения мощности нагревателя в соответствии с правилами округления.

Варианты индивидуальных заданий приведены в Приложении Б, таблица Б.3.

2.2.2.1 Пример решения задачи №3.

Погрешность измерения мощности нагревателя W оценивается как погрешность косвенного измерения по формуле

$$\Delta W = \sqrt{\left(\frac{\partial W}{\partial U} \Delta U \right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial I} \Delta I \right)^2} .$$

В связи с отсутствием каких-либо других метрологических характеристик средств измерений, кроме класса точности, можно определить только пределы допускаемых значений погрешности в соответствии с классом точности ($K_{\text{л}}$) и шкалой прибора ($U_{\text{в}} - U_{\text{н}}$):

$$\Delta U = \frac{U_B - U_H}{100} K_L = \frac{30 - 0}{100} 0,5 = \pm 0,15 \text{ В};$$

$$\Delta I = \frac{I_B - I_H}{100} K_L = \frac{5 - 0}{100} 0,5 = \pm 0,025 \text{ А}.$$

Известно, что мощность равна $W = IU = 3,5 \cdot 24 = 84 \text{ Вт}$,

тогда $\frac{\partial W}{\partial U} = I$, $\frac{\partial W}{\partial I} = U$.

Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения мощности

$$\Delta W = \sqrt{(3,5 \cdot 0,15)^2 + (24 \cdot 0,025)^2} = \pm 0,795 \text{ Вт}.$$

Предел допускаемой относительной погрешности измерения мощности

$$\delta W = \frac{\Delta W}{W} 100 = \frac{0,795}{24 \cdot 3,5} 100 = \pm 0,95\%.$$

Ответ: $\Delta W = \pm 0,795 \text{ Вт}$, $\delta W = \pm 0,95\%$.

Результат измерения $W = (84,0 \pm 0,8) \text{ Вт}$.

2.2.3 Задача №4.

При исследовании теплоотдачи от трубы к воздуху коэффициент теплоотдачи подсчитывается из выражения

$$\alpha_K = \frac{Q}{F(t_C - t_B)}.$$

Количество теплоты Q , передаваемой трубкой путем конвекции, определяется по мощности, потребляемой электронагревателем, как произведение сопротивления трубки R на квадрат силы тока I

$$Q = R I^2.$$

Сила тока измеряется амперметром со шкалой 0-50 А класса 0,1, номинальное значение тока 42 А.

Зависимость сопротивления трубки от температуры была найдена в специальных опытах и описывается выражением

$$R_t = R_0(1 + \alpha t). \quad (2.7)$$

При $t=0$ значение сопротивления $R_0=0,5 \text{ Ом}$, $\alpha = 4 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Относительная погрешность измерения сопротивления не превышает $\pm 0,2\%$.

Поверхность трубки F определяется по длине l и его диаметру d

$$F = \pi dl.$$

Значение длины $l = 100 \pm 0,5 \text{ мм}$, диаметра $d = 10 \pm 0,01 \text{ мм}$.

Температура стенки трубки t_C измеряется стандартным термоэлектрическим термометром градуировки ХК. Термометр через сосуд свободных концов подсоединяется к лабораторному потенциометру ПП-63 класса 0,05. Номинальное значение температуры стенки $200 \text{ } ^\circ\text{C}$. Предел допускаемой погрешности, мВ, потенциометра ПП-63 определяется по формуле

$$\Delta e_{II} = \pm(5 \cdot 10^{-4} U + 0,5 U_p),$$

где U – показания потенциометра, мВ;

U_p - цена деления шкалы, мВ.

$$U_p = 0,05 \text{ мВ.}$$

Температура воздуха t_B измеряется вдали от трубки ртутным термометром повышенной точности со шкалой 100 – 150 °С и предел допускаемой основной погрешности 0,5°С. Номинальное значение температуры воздуха составляет 120°С.

Оценить погрешность измерения коэффициента теплоотдачи на лабораторной установке. Погрешностями, связанными с методами измерения, пренебречь. Результат измерения записать в соответствии с правилами округления.

Варианты индивидуальных заданий приведены в Приложении Б, таблицы Б.4, Б.5 и Б.6.

2.2.3.1 Пример решения задачи №4.

Коэффициент теплоотдачи определяется как результат косвенных измерений параметров Q , F , t_c и t_B . Поэтому предел допускаемой абсолютной погрешности определения коэффициента теплоотдачи может быть подсчитан из выражения

$$\Delta\alpha_K = \sqrt{\left(\frac{\partial\alpha_K}{\partial Q}\Delta Q\right)^2 + \left(\frac{\partial\alpha_K}{\partial F}\Delta F\right)^2 + \left(\frac{\partial\alpha_K}{\partial t_c}\Delta t_c\right)^2 + \left(\frac{\partial\alpha_K}{\partial t_B}\Delta t_B\right)^2}.$$

В связи с тем, что все измеряемые параметры определяются с допускаемыми отклонениями, которые можно считать предельными значениями погрешности, сам коэффициент теплоотдачи может быть оценен с каким-то пределом допускаемой погрешности.

Количество теплоты Q определяется по мощности электронагревателя. Таким образом, Q в свою очередь является результатом косвенных измерений I и R .

Температура трубки измерялась стандартным термоэлектрическим термометром градуировки ХК в комплекте с потенциометром ПП-63. Допускаемое отклонение термо-ЭДС термоэлектрического термометра ТХК от градуировочных значений при $t \leq 300^\circ\text{C}$ составляет $\Delta e_T = \pm 0,2$ мВ (таблица 4-7-3 [5]). Предел допускаемой погрешности потенциометра ПП-63

$$\Delta e_{II} = \pm(5 \cdot 10^{-4} \cdot 14,59 + 0,5 \cdot 0,05) = 0,032 \text{ мВ};$$

$$U = E(200^\circ\text{C}, 0^\circ\text{C}) = 14,59 \text{ мВ.}$$

Оценим предел суммарной погрешности Δe_Σ измерения температуры в предположении, что погрешности термометра и потенциометра являются независимыми величинами. Тогда

$$\Delta e_\Sigma = \sqrt{\Delta e_T^2 + \Delta e_{II}^2} = \sqrt{0,2^2 + 0,032^2} = \pm 0,203 \text{ мВ,}$$

что соответствует $\Delta t = \pm 3^\circ\text{C}$ или $\frac{\Delta t}{t_c} = \pm 0,0145$.

Сопротивление трубки R определялось по измеренной температуре в соответствии с выражением (2.7)

$$R = 0,5 \cdot (1 + 4 \cdot 10^{-3} \cdot 200) = 0,9 \text{ Ом.}$$

Погрешность определения значения R обусловлена погрешностью прибора, измеряющего сопротивление, и погрешностью измерения температуры. Составляющая погрешности, обусловленная погрешностью прибора, не превышает

$$\Delta R_{II} = \pm 0,002 R_0 (1 + \alpha t) = \pm 0,002 \cdot 0,5 (1 + 4 \cdot 10^{-3} \cdot 200) = 0,0018 \text{ Ом.}$$

Составляющая погрешности, обусловленная погрешностью измерения температуры, не превышает

$$\Delta R_I = \pm R_0 \alpha \Delta t = \pm 0,5 \cdot 0,004 \cdot 3 = \pm 0,006 \text{ Ом.}$$

Оценим предел суммарной погрешности определения сопротивления нагреваемой трубки по ее температуре, полагая, что погрешность градуировки трубки и погрешность измерения температуры – независимые величины

$$\Delta R_{\Sigma} = \sqrt{\Delta R_{II}^2 + \Delta R_I^2} = \sqrt{0,0018^2 + 0,006^2} = \pm 0,00606 \text{ Ом}$$

или в относительных величинах $\Delta R_{\Sigma} / R = \pm 0,00673$.

Теперь можно оценить погрешность определения количества теплоты, передаваемой от трубки к воздуху

$$Q = R I^2 = 0,9 \cdot 42^2 = 1588 \text{ Вт,}$$

откуда

$$\Delta Q = \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial R} \Delta R\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial I} \Delta I\right)^2} = \pm \sqrt{42^4 \cdot 0,00606^2 + (2 \cdot 0,9 \cdot 42 \cdot 0,05)^2} = \pm 11,34 \text{ Вт.}$$

Оценим предел погрешности определения поверхности теплообменника F

$$F = \pi d l = 3,14 \cdot 0,01 \cdot 0,1 = 0,00314 \text{ м}^2 ;$$

$$\Delta F = \pm \sqrt{(3,14 \cdot 0,1 \cdot 0,0001)^2 + (3,14 \cdot 0,01 \cdot 0,0005)^2} = \pm 16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 .$$

Оценим погрешность измерения воздуха по характеристикам стеклянного термометра. Термометр со шкалой 100 – 150 °C имеет предел допускаемой погрешности $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Таким образом $\Delta t_B = \pm 0,5^\circ\text{C}$ или $\Delta t_B / t_B = \pm 0,00416$.

Для оценки предела погрешности определения коэффициента теплоотдачи воспользуемся формулой для определения абсолютной погрешности. Вначале определим частные производные

$$\frac{\partial \alpha_K}{\partial Q} = \frac{1}{F(t_c - t_B)} = 3,98 \frac{1}{\text{м}^2 \text{К}} ;$$

$$\frac{\partial \alpha_K}{\partial F} = \frac{Q}{F^2(t_c - t_B)} = 2,013 \cdot 10^6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^4 \text{К}} ;$$

$$\frac{\partial \alpha_K}{\partial t_c} = \frac{Q}{F(t_c - t_B)^2} = 79,02 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^2} ;$$

$$\frac{\partial \alpha_K}{\partial t_B} = \frac{Q}{F(t_c - t_B)^2} = 79,02 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^2} ;$$

Абсолютная погрешность

$$\Delta\alpha_K = \pm\sqrt{(3,98 \cdot 11,34)^2 + (2,013 \cdot 16)^2 + (79,02 \cdot 3)^2 + (79,02 \cdot 0,5)^2} = \pm 239,06 \frac{Bm}{m^2 K}.$$

Расчетный коэффициент теплоотдачи

$$\alpha_K = \frac{Q}{F(t_C - t_B)} = \frac{1588}{0,00314(473 - 393)} = 6321,7 \frac{Bm}{m^2 K}.$$

Предел допускаемой относительной погрешности

$$\delta_\alpha = \frac{\Delta\alpha_K}{\alpha_K} = \pm \frac{239,06}{6321,7} 100 = \pm 3,78\%.$$

$$\text{Ответ: } \alpha_K = (6320 \pm 240) \frac{Bm}{m^2 K}; \quad \delta_\alpha = \pm 3,78\%.$$

3 Расчетно-графическая работа №3. Оптимизация параметров объектов стандартизации

Цель работы: изучить методику оптимизации параметров объектов стандартизации.

3.1 Методы оптимизации параметров объектов стандартизации

Оптимизация параметров объектов стандартизации (ПОС) проводится с целью повышения качества продукции на основе нахождения оптимального значения ПОС, при котором достигается максимально возможная эффективность. Под эффектом понимается достижение определенных технических, экономических и социальных целей при разработке, производстве и эксплуатации продукции. Для достижения определенных целей также необходимы затраты, связанные с расходом материальных, трудовых и природных ресурсов. Таким образом, оптимизация ПОС сводится к определению минимума затрат при разработке, производстве и эксплуатации продукции.

Оптимизация, при которой производится *количественная оценка* получаемого эффекта от объекта стандартизации, называется количественным методом оптимизации ПОС.

Для оптимизации ПОС необходимо количественно определить: параметры объекта, эффект от производства и использование объекта, затраты на разработку, производство и использование объекта.

Существуют три способа количественной оценки указанных эффектов и затрат: технический, денежный и полезностный.

Методы оптимизации ПОС в зависимости от формы оценки цели и затрат на разработку, производство и использование делятся на:

- методы, использующие технические величины;
- методы, использующие денежные и технические величины;
- методы, использующие условные, денежные и технические величины.

Следующим этапом оптимизации ПОС является разработка и составление математической модели, которая состоит из целевой функции и ограничений. Исходными для составления целевых функций служат следующие данные:

а) зависимость эффекта (\mathcal{E}) от оптимизирующих параметров P_i , т.е.

$$\mathcal{E} = \sum_{i=1}^I f(P_1, P_2, \dots, P_i), \quad (3.1)$$

где $j=1, 2, \dots, J$ и $i=1, 2, \dots, I$;

б) зависимость затрат (\mathcal{Z}) от оптимизируемых параметров P_i , т.е.

$$\mathcal{Z}_k = \sum_{i=1}^I f(P_1, P_2, \dots, P_i), \quad (3.2)$$

где $k=1, 2, \dots, K$ и $i=1, 2, \dots, I$.

Тогда целевая функция определяется по формуле

$$\mathcal{C} = f(\mathcal{E}_j, \mathcal{Z}_k) \quad \text{или} \quad \mathcal{C} = \mathcal{E}_j / \mathcal{Z}_k. \quad (3.3)$$

Ограничения описывают зависимости между ПОС и достигнутым уровнем научно-технического прогресса, производственными возможностями, обеспеченностью сырьем, материалами, энергией и т.д. Ограничения записываются в следующем виде

$$E = f(P_i) \leq 0 \quad \text{или} \quad E = f(P_i) \geq 0. \quad (3.4)$$

Для оптимизации ПОС необходимо найти значение P_i , при котором

$$\begin{aligned} \mathcal{C} = \mathcal{E}_j / \mathcal{Z}_k &\rightarrow \text{MAX} \quad \text{или} \\ \mathcal{E}_j = \sum_{i=1}^I f(P_1, P_2, \dots, P_i) &\rightarrow \text{MAX}, \quad \text{или} \\ \mathcal{Z}_k = \sum_{i=1}^I f(P_1, P_2, \dots, P_i) &\rightarrow \text{MIN}. \end{aligned}$$

При этом полученные значения P должны обеспечить условия ограничения, согласно формулам (3.4).

В данной расчетно-графической работе применяется метод оптимизации ПОС с использованием технических величин. Поэтому при составлении целевой функции и ограничении использованы зависимости между прогностными характеристиками элементов и их геометрическими размерами, а также зависимости между геометрическими размерами исходной заготовки и готовой детали, и другие критерии оптимизации.

3.2 Задание 1

Для разработки стандарта предприятия требуется определить основные параметры (наружный диаметр d и толщину стенки t) круглой поллой стойки, работающей на сжатие. Материал стойки – углеродистая сталь с пределом текучести σ_T , допускаемый запас прочности стали $[S_p]$, осевая нагрузка P_i изменяется по ряду 10, согласно ГОСТ 8032-84 «Предпочтительные числа. Ряды предпочтительных чисел».

Необходимо:

- а) построить математическую модель (целевую функцию и ограничения) для оптимизации;
- б) составить алгоритм и программу решения задачи на ЭВМ;
- в) произвести выбор оптимального диаметра d_{opt} и толщины t_{opt} , соответствующих минимальному сечению стойки.

Варианты индивидуальных заданий к данной задаче приведены в Приложении В, таблица В.1.

3.2.1 Решение задачи.

3.2.1.1 Построение математической модели задачи для оптимизации.

Исходными для составления математической модели оптимизации служат целевая функция и ограничения, устанавливающие зависимости между силой P , приложенной к стойке, и величиной напряжения, возникающей в опасном сечении конструкции при заданном ее геометрическом параметре. Поэтому, используя известную формулу из курса «Детали машин», запишем целевую функцию в следующем виде

$$\sigma_p = \frac{P}{F} \quad \text{или} \quad \zeta = \sigma_p = \frac{4P}{\pi d^2},$$

где P — осевая нагрузка, Н;

σ_p — напряжение, возникающее в сечении стойки, МПа;

d — наружный диаметр стойки, мм.

Ограничением в данном случае служит то, что напряжение, возникающее в стойке, должно быть в $[Sp]$ раз меньше, чем допускаемые для данного материала пределы текучести σ_T . Тогда ограничение выражается в следующем виде

$$\zeta = \sigma_{opt} \leq \frac{\sigma_T}{[S_p]},$$

где $[Sp]$ — допускаемый запас прочности стойки на сжатие;

σ_T — пределы текучести материала, МПа.

Таким образом, математическая модель оптимизации имеет вид

$$\zeta = \sigma_p = \frac{4P}{\pi d^2}; \tag{3.5}$$

$$E = \sigma_{opt} \leq \frac{\sigma_T}{[S_P]} . \quad (3.6)$$

Диаметр стойки должен соответствовать требованиям ГОСТ 6636-69 «Нормальные линейные размеры», поэтому расчет ведем для диаметров стойки, равных 10, 50 и 100 мм. При этом считаем, что толщина стойки изменяется в следующих пределах: $t=d/2$, $t=d/10$, $t=d/20$.

Определяем формулы для расчета значения σ_P в зависимости от диаметра d и толщины t стенки стойки. Из формулы (3.5) для *целого сечения* имеем

$$\sigma_P = \frac{4P}{\pi d^2} , \quad (3.7)$$

для *полого сечения*

$$\sigma_P = \frac{4P}{\pi [d^2 - (d - 2t)^2]} . \quad (3.8)$$

В формулу (3.8) подставляем поочередно значения $t=d/2$, $t=d/10$, $t=d/20$.

3.2.1.2 Составление алгоритма и программы решения задачи на ЭВМ.

Для определения значения σ_P принимаем алгоритм, приведенный в формуле (3.9). Алгоритм необходимо представить в виде блок-схемы.

По полученному алгоритму составляется программа для ЭВМ на любом языке программирования.

После вычисления на ЭВМ значения σ_P выбираем значения оптимального диаметра и толщины стенки стойки, исходя из заданного ограничения (формула 3.6).

Сделать вывод по полученному решению задания.

3.2 Задание 2

Определить радиус r и высоту h цилиндрического резервуара емкостью V_k при минимальном расходе материала. Резервуар изготавливается из листового материала одинаковой толщины. Для решения задачи необходимо:

а) построить математическую модель (целевую функцию и ограничения) для оптимизации;

б) составить алгоритм и программу решения задачи на ЭВМ;

в) вычислить значения r_{opt} и h_{opt} резервуара для V_k , указанных в вариантах индивидуальных заданий в Приложении В (таблица В.2).

3.2.1 Решение задачи.

3.3.1.1 Построение математической модели задачи для оптимизации.

Исходными данными для составления математической модели оптимизации служит целевая функция и ограничения, устанавливающие

зависимости между площадью поверхности и объемом резервуара с его геометрическими размерами. Тогда целевая функция имеет вид

$$S = 2\pi r^2 + 2\pi rh,$$

где S – площадь поверхности резервуара, m^2 ;

r – радиус резервуара, м;

h – высота резервуара, м.

Ограничением является следующая зависимость

$$V_i = \pi r^2 h,$$

где V_i – объем резервуара, m^3 .

Таким образом, математическая модель оптимизации задачи имеет вид

$$S = 2\pi r^2 + 2\pi rh, \quad (3.9)$$

$$V_i = \pi r^2 h. \quad (3.10)$$

Определяем формулы для расчета значения r и h в зависимости от V_i . Для этого из уравнения (3.10) определяем значение h , а затем подставляем его в уравнение (3.9)

$$S = 2(\pi r^3 + V_i) / r. \quad (3.11)$$

Для того, чтобы найти S_{\min} , необходимо продифференцировать уравнение (3.11) по r и полученный результат приравнять нулю, т.е. $S'_{\min} = 0$.

Далее решаем продифференцированное уравнение относительно r . Найдем формулу для вычисления значения r . Подставим это выражение в формулу (3.11) и определим формулу для вычисления значения h .

3.2.1.2 Составление алгоритма и программы решения задачи на ЭВМ.

Алгоритмом для решения задачи (нахождения оптимальных значений r и h) являются выражения для определения r и h , найденные в предыдущем этапе решения задания. Алгоритм должен быть составлен в виде блок-схемы решения задачи.

По полученному алгоритму составляется программа для ЭВМ на любом языке программирования.

Сделать вывод по полученному решению задания.

Приложение А

Таблица А.1- РГР №1, варианты задания №1, задача 1

№ варианта	X %	P_1	Δx_1 %	P_2
1	9,5	0,9	0,5	0,95
2	8,6	0,95	0,5	0,96
3	8,5	0,96	0,5	0,97
4	7,3	0,97	0,5	0,98
5	9,3	0,98	0,5	0,99
6	10,4	0,99	0,5	0,91
7	10,2	0,91	0,5	0,92
8	11,1	0,92	0,5	0,85
9	9,7	0,85	0,5	0,8
10	11,53	0,8	0,5	0,9
11	12,2	0,9	0,4	0,96
12	13,0	0,95	0,4	0,97
13	6,5	0,96	0,4	0,98
14	6,78	0,97	0,4	0,99
15	9,45	0,98	0,4	0,91
16	10,3	0,99	0,4	0,92
17	12,7	0,91	0,4	0,85
18	9,23	0,92	0,4	0,8
19	8,97	0,85	0,4	0,9
20	7,56	0,8	0,4	0,95
21	6,98	0,9	0,7	0,97
22	9,45	0,95	0,7	0,98
23	7,23	0,96	0,7	0,99
24	10,6	0,97	0,7	0,91
25	11,2	0,98	0,7	0,92

Таблица А.2- РГР №1, варианты задания №1, задача 2

№ варианта	P	\bar{X} , кПа	S^2 , (кПа) ²
1	0,9	760	49
2	0,95	800	64
3	0,96	850	66
4	0,97	900	72
5	0,98	950	75
6	0,99	700	36
7	0,91	750	46
8	0,92	740	48
9	0,85	820	68

Окончание таблицы А.2

10	0,8	830	69
11	0,9	840	70
12	0,95	910	71
13	0,96	920	73
14	0,97	930	74
15	0,98	710	38
16	0,99	680	33
17	0,91	690	35
18	0,92	990	81
19	0,85	1100	85
20	0,8	1050	83
21	0,9	1200	88
22	0,95	1250	89
23	0,96	1300	90
24	0,97	1220	87
25	0,98	1210	86

Таблица А.3- РГР №1, варианты задания №1, задача 3

№ варианта	$\bar{X} - A$	$\bar{X} + B$	P
1	23,5	30,5	0,95
2	24,5	31,5	0,96
3	25,5	32,5	0,97
4	26,5	33,5	0,98
5	27,5	34,5	0,99
6	28,5	35,5	0,91
7	29,5	36,5	0,92
8	30,5	37,5	0,85
9	31,5	38,5	0,8
10	32,5	39,5	0,9
11	33,5	40,5	0,95
12	34,5	41,5	0,96
13	35,5	42,5	0,97
14	36,5	43,5	0,98
15	37,5	44,5	0,99
16	38,5	45,5	0,91
17	39,5	46,5	0,92
18	40,5	47,5	0,85
19	41,5	50,5	0,8
20	42,5	51,5	0,9
21	43,5	52,5	0,95

Окончание таблицы А.3

22	44,5	53,5	0,96
23	45,5	54,5	0,97
24	46,5	55,5	0,98
25	47,5	56,5	0,95

Таблица А.4-Значения функции Лапласа для некоторых аргументов

z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$
-0.00	0.5000	-0.34	0.3669	-0.68	0.2483	-1.02	0.1539
-0.01	4960	-0.35	3632	-0.69	2451	-1.03	1515
-0.02	4920	-0.36	3594	-0.70	0.2420	-1.04	1492
-0.03	4880	-0.37	3557	-0.71	2389	-1.05	1469
-0.04	4840	-0.38	0.3520	-0.72	2358	-1.06	1446
-0.05	4801	-0.39	3483	-0.73	2327	-1.07	1423
-0.06	4761	-0.40	0.3446	-0.74	2297	-1.08	1401
-0.07	4721	-0.41	3409	-0.75	2266	-1.09	1379
-0.08	4681	-0.42	3372	-0.76	0.2236	-1.10	0.1357
-0.09	4641	-0.43	3336	-0.77	2206	-1.11	1335
-0.10	0.4602	-0.44	3300	-0.78	2177	-1.12	1314
-0.11	4562	-0.45	3264	-0.79	2148	-1.13	1292
-0.12	4522	-0.46	3228	-0.80	0.2119	-1.14	0.1271
-0.13	4483	-0.47	3192	-0.81	2090	-1.15	1251
-0.14	4443	-0.48	3156	-0.82	2061	-1.16	1230
-0.15	4404	-0.49	3121	-0.83	2033	-1.17	1210
-0.16	4364	-0.50	0.3085	-0.84	2005	-1.18	1190
-0.17	4325	-0.51	3050	-0.85	1977	-1.19	1170
-0.18	4286	-0.52	3015	-0.86	1949	-1.20	0.1151
-0.19	4247	-0.53	2981	-0.87	1922	-1.21	1131
-0.20	0.4207	-0.54	2946	-0.88	1894	-1.22	1112
-0.21	4168	-0.55	2912	-0.89	1867	-1.23	1093
-0.22	4129	-0.56	2877	-0.90	0.1841	-1.24	1075
-0.23	4090	-0.57	2843	-0.91	1814	-1.25	1056
-0.24	4052	-0.58	2810	-0.92	1788	-1.26	1038
-0.25	4013	-0.59	2776	-0.93	1762	-1.27	1020
-0.26	3974	-0.60	0.2743	-0.94	1736	-1.28	1003
-0.27	3936	-0.61	2709	-0.95	1711	-1.29	0985
-0.28	3897	-0.62	2676	-0.96	1685	-1.30	0.0968
-0.29	3859	-0.63	2643	-0.97	1660	-1.31	0951
-0.30	0.3821	-0.64	2611	-0.98	1635	-1.32	0934
-0.31	3783	-0.65	2578	-0.99	1611	-1.33	0918
-0.32	3745	-0.66	2546	-1.00	0.1587	-1.34	0901
-0.33	3707	-0.67	2514	-1.01	1563	-1.35	0885

Продолжение таблицы А.4

-1.36	0.0869	-1.78	0.0375	0.00	0.5000	0.42	0.6628
-1.37	0853	-1.79	0367	0.01	5040	0.43	6664
-1.38	0838	-1.80	0.0359	0.02	5080	0.44	6700
-1.39	0823	-1.81	0351	0.03	5120	0.45	6736
-1.40	0.0808	-1.82	0344	0.04	5160	0.46	6772
-1.41	0793	-1.83	0336	0.05	5199	0.47	6808
-1.42	0778	-1.84	0329	0.06	5239	0.48	6844
-1.43	0764	-1.85	0322	0.07	5279	0.49	6879
-1.44	0749	-1.86	0314	0.08	5319	0.50	0.6915
-1.45	0735	-1.87	0307	0.09	5359	0.51	6950
-1.46	0721	-1.88	0301	0.10	0.5398	0.52	6985
-1.47	0708	-1.89	0294	0.11	5438	0.53	7019
-1.48	0694	-1.90	0.0288	0.12	5478	0.54	7054
-1.49	0681	-1.91	0281	0.13	5517	0.55	7088
-1.50	0.0668	-1.92	0274	0.14	5557	0.56	7123
-1.51	0655	-1.93	0268	0.15	5596	0.57	7157
-1.52	0.0643	-1.94	0.0262	0.16	0.5636	0.58	0.7190
-1.53	0630	-1.95	0256	0.17	5675	0.59	7224
-1.54	0618	-1.96	0250	0.18	5714	0.60	0.7257
-1.55	0606	-1.97	0244	0.19	5753	0.61	7291
-1.56	0594	-1.98	0239	0.20	0.5793	0.62	7324
-1.57	0582	-1.99	0233	0.21	5832	0.63	7354
-1.58	0571	-2.00	0.0228	0.22	5871	0.64	7389
-1.59	0559	-2.10	0179	0.23	5910	0.65	7422
-1.60	0.0548	-2.20	0139	0.24	5948	0.66	7454
-1.61	0537	-2.30	0107	0.25	5987	0.67	7486
-1.62	0526	-2.40	0082	0.26	6026	0.68	7517
-1.63	0516	-2.50	0062	0.27	6064	0.69	7549
-1.64	0505	-2.60	0047	0.28	6103	0.70	0.7580
-1.65	0495	-2.70	0035	0.29	6141	0.71	7611
-1.66	0485	-2.80	0026	0.30	0.6179	0.72	7642
-1.67	0475	-2.90	0019	0.31	6217	0.73	7673
-1.68	0465	-3.00	0.0014	0.32	6255	0.74	7703
-1.69	0455	-3.10	0010	0.33	6293	0.75	7734
-1.70	0.0446	-3.20	0007	0.34	6331	0.76	7764
-1.71	0436	-3.30	0005	0.35	6368	0.77	7794
-1.72	0427	-3.40	0003	0.36	6406	0.78	7823
-1.73	0418	-3.50	0002	0.37	6443	0.79	7852
-1.74	0409	-3.60	0002	0.38	6480	0.80	0.7881
-1.75	0401	-3.70	0001	0.39	6517	0.81	7910
-1.76	0392	-3.80	0001	0.40	0.6554	0.82	7939
-1.77	0384	-3.90	0000	0.41	6591	0.83	7967

Окончание таблицы А.4

0.84	0.7995	1.26	0.8962	1.68	0.9535	3.00	0.9986
0.85	8023	1.27	8980	1.69	9545	3.10	9990
0.86	8051	1.28	8997	1.70	0.9554	3.20	9993
0.87	8078	1.29	9015	1.71	9564	3.30	9995
0.88	8106	1.30	0.9032	1.72	9573	3.40	9997
0.89	8133	1.31	9049	1.73	9582	3.50	9998
0.90	0.8159	1.32	9066	1.74	9591	3.60	9998
0.91	8186	1.33	9082	1.75	9599	3.70	9999
0.92	8212	1.34	9099	1.76	9608	3.80	9999
0.93	8238	1.35	9115	1.77	9616	3.90	1.0000
0.94	8264	1.36	9131	1.78	9625		
0.95	8289	1.37	9147	1.79	9633		
0.96	8315	1.38	9162	1.80	0.9641		
0.97	8340	1.39	9177	1.81	9649		
0.98	8365	1.40	0.9192	1.82	9656		
0.99	8389	1.41	9207	1.83	9664		
1.00	0.8413	1.42	9222	1.84	9671		
1.01	8437	1.43	9236	1.85	9678		
1.02	8461	1.44	9251	1.86	9686		
1.03	8485	1.45	9265	1.87	9693		
1.04	8508	1.46	9279	1.88	9699		
1.05	8531	1.47	9292	1.89	9706		
1.06	8554	1.48	9306	1.90	0.9713		
1.07	8577	1.49	9319	1.91	9719		
1.08	8599	1.50	0.9332	1.92	9726		
1.09	8621	1.51	9345	1.93	9732		
1.10	0.8643	1.52	9357	1.94	9738		
1.11	8665	1.53	9370	1.95	9744		
1.12	8686	1.54	9382	1.96	9750		
1.13	8708	1.55	9394	1.97	9756		
1.14	8729	1.56	9406	1.98	9761		
1.15	8749	1.57	9418	1.99	9767		
1.16	8770	1.58	9429	2.00	0.9772		
1.17	8790	1.59	9441	2.10	9821		
1.18	8810	1.60	0.9452	2.20	9861		
1.19	8830	1.61	9463	2.30	9893		
1.20	0.8849	1.62	9474	2.40	9918		
1.21	8869	1.63	9484	2.50	9938		
1.22	8888	1.64	9495	2.60	9953		
1.23	8907	1.65	9505	2.70	9965		
1.24	8925	1.66	9515	2.80	9974		
1.25	8944	1.67	9525	2.90	9981		

Таблица А.5- Значения $\chi^2_{кр}$ распределения Пирсона

ν Р	0,50	0,70	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
4	3,36	4,88	5,99	7,78	9,49	11,67	13,28	18,46
5	4,35	6,06	7,29	9,24	11,07	13,39	15,09	20,5
6	5,35	7,23	8,56	10,64	12,59	15,03	16,81	22,5
7	6,35	8,38	9,80	12,02	14,07	16,62	18,48	24,3
8	7,34	9,52	11,03	13,36	15,51	18,17	20,1	26,1
9	8,34	10,66	12,24	14,68	16,92	19,68	21,7	27,9
10	9,34	11,78	13,44	15,99	18,31	21,2	23,2	29,6
11	10,34	12,9	14,63	17,28	19,68	22,6	24,7	31,3
12	11,34	14,01	15,81	18,55	21,0	24,1	26,2	32,9
13	12,34	15,12	16,98	19,81	22,4	25,5	27,7	34,5
14	13,34	16,22	18,15	21,1	23,7	26,9	29,1	36,1
15	14,34	17,32	19,31	22,3	25,0	28,3	30,6	37,7
16	15,34	18,42	20,5	23,5	26,3	29,6	32,0	39,3
17	16,34	19,51	21,6	24,8	27,6	31,0	33,4	40,8
18	17,34	20,6	22,8	26,0	28,9	32,3	34,8	42,3
19	18,34	21,7	23,9	27,2	30,1	33,7	36,2	43,8
20	19,34	22,8	25,0	28,4	31,4	35,0	37,6	45,3
21	20,3	23,9	26,2	29,6	32,7	36,3	38,9	46,8
22	21,3	24,9	27,3	30,8	33,9	37,7	40,3	48,3
23	22,3	26,0	28,4	32,0	35,2	39,0	41,6	49,7
24	23,3	27,1	29,6	33,2	36,4	40,3	43,0	51,2
25	24,3	28,2	30,7	34,4	37,7	41,6	44,3	52,6
26	25,3	29,2	31,8	35,6	38,9	42,9	45,6	54,1
27	26,3	30,3	32,9	36,7	40,1	44,1	47,0	55,5
28	27,3	31,4	34,0	37,9	41,3	45,4	48,3	56,9
29	28,3	32,5	35,1	39,1	42,6	46,7	49,6	58,3
30	29,3	33,5	36,2	40,3	43,8	48,0	50,9	59,7

Таблица А.6- Квантили нормального распределения

n Р	0,683	0,90	0,95	0,98	0,99	0,997
15	1,04	1,75	2,13	2,60	2,95	3,6
16	1,04	1,75	2,12	2,58	2,92	3,6
17	1,03	1,74	2,11	2,57	2,90	3,5
18	1,03	1,73	2,10	2,55	2,88	3,5
19	1,03	1,73	2,09	2,54	2,86	3,4
20	1,03	1,72	2,09	2,53	2,84	3,4
30	1,02	1,70	2,04	2,46	2,75	3,3
50	1,01	1,68	2,01	2,41	2,68	3,2

Таблица А.7 – РГР №1, варианты задания №2

Вариант №1. Расход Q, т/ч									
550.0	550.12	550.13	550.00	549.98	549.96	549.90	550.20	550.63	548.20
546.3	552.00	560.8	552.00	553.21	554.21	544.00	561.20	553.20	547.10
542.0	561.00	530.10	502.00	552.10	556.12	580.00	590.00	570.00	552.12
554.2	556.23	550.80	550.97	550.45	550.10	501.00	550.00	550.20	531.23
542.0	561.00	530.10	502.00	552.10	556.12	580.00	590.00	570.00	552.12
θ_i	0.12	0.8	0.97	0.1	0.21	0.63	0.90	0.2	0.23
Вариант №2. Уровень L, мм									
4001	4002	4000	4120	4501	4010	4020	4050	4000	4002
4009	4201	4032	4056	4400	4501	4001	3910	3998	3897
3897	3789	3981	4012	4002	4020	4060	4101	4020	4030
4023	4065	4500	4800	4100	4900	3890	3870	3900	3900
4009	4201	4032	4056	4400	4501	4001	3910	3998	3897
θ_i	2	9	10	7	6	5	3	11	4
Вариант №3. Давление P, МПа									
22.03	31.02	21.06	22.03	22.99	23.51	23.64	23.98	22.02	28.10
29.01	30.25	23.15	19.25	19.99	19.98	20.22	21.36	22.36	23.56
23.56	22.36	22.99	22.98	23.56	21.23	20.36	19.23	24.26	15.89
16.89	10.23	25.26	26.32	22.35	22.36	13.25	21.03	21.23	22.36
23.56	22.36	22.99	22.98	23.56	21.23	20.36	19.23	24.26	15.89
θ_i	0.36	0.23	0.89	0.56	0.99	0.36	0.25	0.98	0.64
Вариант №4. Температура T, °C									
230.0	236.12	230.12	230.56	230.48	230.15	230.15	230.55	256.02	280.56
200.1	210.23	230.56	230.78	230.12	230.00	230.00	231.23	232.02	231.02
231.5	235.56	235.45	234.25	270.23	280.23	240.23	229.15	228.00	280.12
290.0	214.23	234.26	230.12	230.12	230.59	230.00	250.26	280.26	240.15
231.5	235.56	235.45	234.25	270.23	280.23	240.23	229.15	228.00	280.12
θ_i	0.5	0.45	0.25	0.23	0.59	0.02	0.15	0.48	0.12
Вариант №5. Давление P, кгс/см ²									
12.50	12.13	12.34	12.56	12.89	13.54	18.23	12.00	12.33	12.54
12.56	12.21	12.22	12.10	11.99	11.89	12.02	11.89	12.00	12.02
12.02	11.56	11.89	12.02	10.78	8.78	10.45	11.56	12.22	12.22
12.32	12.45	12.56	12.22	12.10	12.00	12.00	12.11	12.22	12.45
12.02	11.56	11.89	12.02	10.78	8.78	10.45	11.56	12.22	12.22
θ_i	0.5	0.4	0.2	0.3	0.9	0.02	0.1	0.8	0.12

Продолжение таблицы А.7

Вариант №6. Уровень L, м									
0.62	0.56	0.62	0.63	0.61	0.54	0.89	0.62	0.62	0.63
0.63	0.63	0.65	0.56	0.78	0.99	0.12	0.25	0.63	0.63
0.62	0.62	0.60	0.60	0.65	0.63	0.63	0.63	0.61	0.60
0.62	0.62	0.60	0.60	0.63	0.89	0.89	0.99	0.77	0.63
0.62	0.62	0.60	0.60	0.65	0.63	0.63	0.63	0.61	0.60
θ_i	0.05	0.045	0.025	0.023	0.059	0.02	0.015	0.048	0.012
Вариант №7. Давление P, МПа									
0.7	0.7	0.72	0.75	0.78	0.79	0.79	0.79	0.79	0.71
0.74	0.87	0.89	0.89	0.71	0.52	0.62	0.61	0.71	0.7
0.71	0.71	0.75	0.74	0.78	0.85	0.89	0.85	0.84	0.86
0.87	0.74	0.71	0.7	0.72	0.71	0.7	0.7	0.72	0.89
0.7	0.7	0.72	0.75	0.78	0.79	0.79	0.79	0.79	0.71
θ_i	0.015	0.045	0.035	0.023	0.059	0.002	0.015	0.048	0.012
Вариант №8. Расход Q, т/ч									
3374	3374	3378	3389	3375	3372	3376	3372	3371	3371
3375	3362	3365	3374	3370	3375	3778	3100	3375	3345
3375	3374	3374	3370	3372	3376	3371	3370	3370	3375
3375	3388	3397	3345	3371	3375	3376	3374	3374	3378
3374	3374	3378	3389	3375	3372	3376	3372	3371	3371
θ_i	5	45	25	23	59	2	15	48	12
Вариант №9. Давление P, МПа									
1.8	1.81	1.85	1.81	1.82	1.8	1.81	1.82	1.82	2.0
2.0	2.1	2.1	2.1	2.0	1.8	1.81	1.85	1.91	1.91
1.5	1.8	1.84	1.87	1.84	1.82	1.82	1.83	1.81	1.80
1.84	1.87	1.94	1.41	1.54	1.84	1.51	1.85	1.82	1.8
1.5	1.8	1.84	1.87	1.84	1.82	1.82	1.83	1.81	1.80
θ_i	0.5	0.45	0.25	0.23	0.59	0.02	0.15	0.48	0.12
Вариант №10. Давление P, кПа									
550.1	550.2	550.54	550.3	550.6	551.2	554.5	550.2	557.5	590.54
490.5	550.4	550.6	550.4	551.2	554.2	557	551.5	550.2	550.9
550.2	551.2	550.5	550.2	550.3	550.9	585.9	550.6	554.3	554.6
558.6	550.6	600.5	600.5	60.1	490.5	450.5	550.2	550.5	554.5
550.1	550.2	550.54	550.3	550.6	551.2	554.5	550.2	557.5	590.54
θ_i	5	4	2	3	9	2	15	8	12

Продолжение таблицы А.7

Вариант №11. Температура T, °C									
70.12	70.45	70.5	70.6	70.4	70.8	71.2	71.5	70.5	72.12
69.56	68.56	69.45	68.45	68.45	69.46	70.56	50.26	71.56	71.26
71.89	64.68	69.56	90.58	50.58	59.45	64.56	70.45	70.56	70.48
78.12	80.45	80.15	71.45	71.46	71.49	70.26	64.89	61.56	70.56
71.89	64.68	69.56	90.58	50.58	59.45	64.56	70.45	70.56	70.48
θ_i	0.58	0.45	0.26	0.23	0.9	0.2	0.15	0.48	0.12
Вариант №12. Расход Q, т/ч									
1214	1120	1245	1245	1200	1240	1240	1200	1212	1201
1200	1200	1179	1194	1195	1197	1194	1120	1200	1230
1201	1240	1200	1250	1250	1240	1301	1200	1190	1198
1190	1199	1200	1201	1120	1200	1200	1230	1220	1120
1214	1120	1245	1245	1200	1240	1240	1200	1212	1201
θ_i	51	45	25	23	59	20	15	48	12

Вариант №13. Давление P, кПа

80.12	80.45	80.56	80.12	85.45	80.48	81.05	89.56	79.56	79.56
74.56	78.45	81.56	80.12	80.45	81.45	81.56	91.56	84.56	81.56
80.45	80.44	80.12	80.12	81.23	81.56	81.45	81.45	82.45	82.56
98.78	95.89	84.56	80.45	80.15	80.45	80.45	80.15	84.56	84.26
80.45	80.44	80.12	80.12	81.23	81.56	81.45	81.45	82.45	82.56
θ_i	0.44	0.12	0.25	0.23	0.45	0.25	0.15	0.48	0.12

Вариант №14. Температура T, °C

45.02	45.89	45.68	45.15	49.56	45.1	45.1	40.23	40.56	47.15
48.45	15.26	59.13	45.12	45.16	45.19	45.85	45.87	41.56	40.26
94.89	94.59	45.62	45.62	12.05	45.12	45.25	41.56	41.56	48.56
47.56	46.21	46.87	45.98	45.99	45.74	45.84	41.56	45.26	48.59
45.02	45.89	45.68	45.15	49.56	45.1	45.1	40.23	40.56	47.15
θ_i	0.5	0.45	0.25	0.23	0.59	0.02	0.15	0.48	0.12

Вариант №15. Температура T, °C

120	120	125	120	121	124	125	160	120	150
125	125	126	124	120	121	123	123	125	122
121	120	198	121	119	118	116	112	120	120
120	121	123	120	123	150	160	121	127	128
121	120	198	121	119	118	116	112	120	120
θ_i	5	4,5	2,5	2,3	5,9	2	1,5	4,8	1,2

Продолжение таблицы А.7

Вариант №16. Температура T , °C									
50.21	50.45	50.26	50.29	58.12	50.45	51.23	52.23	52.23	56.23
45.23	49.53	48.56	50.23	50.12	50.55	50.78	50.99	50.89	50.76
51.23	51.23	51.26	41.56	45.16	49.56	48.45	45.47	47.45	50.56
58.46	57.45	90.56	90.56	50.56	50.54	50.45	30.26	23.13	50.26
51.23	51.23	51.26	41.56	45.16	49.56	48.45	45.47	47.45	50.56
θ_i	0.5	0.5	0.25	0.23	0.9	0.02	0.15	0.8	0.25

Вариант №17. Расход Q , т/ч									
24.12	21.12	24.12	24.26	24.59	24.28	24.26	25.26	29.46	20.26
21.25	20.23	24.56	23.26	22.26	10.23	10.25	16.25	24.26	24.23
28.26	25.26	24.0	24.0	21.56	21.23	20.15	24.15	24.65	24.99
21.25	20.23	24.56	23.26	22.26	10.23	10.25	16.25	24.26	24.23
25.99	26.44	26.28	34.26	35.26	38.29	41.26	34.25	25.0	24.16
θ_i	5	4	2	3	9	2	1	8	1

Вариант №18. Температура T , °C									
50.45	20.23	50.56	50.45	50.45	78.05	79.05	50.45	50.88	50.99
54.26	54.26	51.22	53.26	53.54	53.25	51.15	51.26	50.26	49.58
50.21	50.45	50.26	50.29	58.12	50.45	51.23	52.23	52.23	56.23
45.23	49.53	48.56	50.23	50.12	50.55	50.78	50.99	50.89	50.76
50.21	50.45	50.26	50.29	58.12	50.45	51.23	52.23	52.23	56.23
θ_i	0.5	0.45	0.25	0.23	0.59	0.02	0.15	0.48	0.12

Вариант №19. Расход Q , т/ч									
1201	1240	1200	1250	1250	1240	1301	1200	1190	1198
1190	1199	1200	1201	1120	1200	1200	1230	1220	1120
1250	1250	1205	1208	1204	1205	1206	1190	1190	1189
1190	1190	1199	1201	1200	1200	1230	1220	1200	1201
1190	1199	1200	1201	1120	1200	1200	1230	1220	1120
θ_i	50	45	25	23	59	20	15	48	12

Вариант №20. Уровень L , мм									
4500	4100	4002	4003	4009	3900	3890	3700	4500	4100
4160	4302	4900	4602	4010	4020	4050	3890	3909	3999
4001	4002	4000	4120	4501	4010	4020	4050	4000	4002
4009	4201	4032	4056	4400	4501	4001	3910	3998	3897
4001	4002	4000	4120	4501	4010	4020	4050	4000	4002
θ_i	60	45	50	30	90	25	56	80	28

Окончание таблицы А.7

Вариант №21. Давление Р, кПа									
80.46	80.78	80.45	80.56	78.56	51.45	50.45	50.68	89.56	80.45
81.46	80.12	80.45	80.46	80.12	84.56	87.56	94.56	61.45	64.56
80.12	80.45	80.56	80.12	85.45	80.48	81.05	89.56	79.56	79.56
74.56	78.45	81.56	80.12	80.45	81.45	81.56	91.56	84.56	81.56
80.46	80.78	80.45	80.56	78.56	51.45	50.45	50.68	89.56	80.45
θ_i	0.60	0.45	0.50	0.30	0.90	0.25	0.56	0.80	0.28
Вариант №22. Давление Р, кПа									
1.2	1.21	1.98	1.98	2.6	3.54	1.82	1.81	1.89	1.84
1.82	1.8	1.82	1.82	1.84	1.51	1.87	1.81	1.81	1.82
1.8	1.81	1.85	1.81	1.82	1.8	1.81	1.82	1.82	2.0
2.0	2.1	2.1	2.1	2.0	1.8	1.81	1.85	1.91	1.91
1.82	1.8	1.82	1.82	1.84	1.51	1.87	1.81	1.81	1.82
θ_i	0.05	0.045	0.025	0.023	0.059	0.002	0.015	0.048	0.012
Вариант №23. Уровень L, м									
0.56	0.64	0.52	0.64	0.63	0.62	0.63	0.63	0.61	0.63
0.62	0.65	0.45	0.65	0.63	0.63	0.63	0.63	0.62	0.89
0.62	0.56	0.62	0.63	0.61	0.54	0.89	0.62	0.62	0.63
0.63	0.63	0.65	0.56	0.78	0.99	0.12	0.25	0.63	0.63
0.62	0.65	0.45	0.65	0.63	0.63	0.63	0.63	0.62	0.89
θ_i	0.05	0.045	0.025	0.023	0.059	0.002	0.015	0.048	0.012
Вариант №24. Давление Р, кПа									
550.5	550.5	557.5	557.35	551.5	550.5	550.5	550.05	554.5	560.5
540.5	560.5	530.8	560.8	590.5	560.5	539.4	540.5	548.6	549.2
550.1	550.2	550.54	550.3	550.6	551.2	554.5	550.2	557.5	590.54
490.5	550.4	550.6	550.4	551.2	554.2	557	551.5	550.2	550.9
540.5	560.5	530.8	560.8	590.5	560.5	539.4	540.5	548.6	549.2
θ_i	5	4	2	3	9	2	1	8	1
Вариант №25. Температура Т, °С									
110	110	100	120	121	199	194	198	124	125
129	127	121	126	120	123	122	121	123	120
120	120	125	120	121	124	125	160	120	150
125	125	126	124	120	121	123	123	125	122
120	120	125	120	121	124	125	160	120	150
θ_i	0.5	0.4	0.2	0.3	0.9	0.2	0.1	0.8	0.1

Приложение Б

Таблица Б.1 - РГР №2, варианты задания №1, задача 1

№ варианта	РОЗ, °C	Н.У., °C	K_L	$t_{\text{эспл}},$ °C	$\delta_{\text{дон}},$ %	$t_{\text{откл}},$ °C
1	-5 ÷ +50	20 ± 5	0,25	30	0,2	10
2	-5 ÷ +50	20 ± 5	0,5	35	0,2	10
3	-5 ÷ +50	20 ± 5	0,3	40	0,2	10
4	-5 ÷ +50	20 ± 5	0,4	45	0,2	10
5	-5 ÷ +50	20 ± 5	1,0	10	0,2	10
6	-5 ÷ +50	20 ± 5	0,25	30	0,15	5
7	-5 ÷ +50	20 ± 5	0,5	35	0,15	5
8	-5 ÷ +50	20 ± 5	0,3	40	0,15	5
9	-5 ÷ +50	20 ± 5	0,4	45	0,15	5
10	0 ÷ +50	20 ± 5	1,0	10	0,15	5
11	0 ÷ +50	20 ± 5	0,25	30	0,25	10
12	0 ÷ +50	20 ± 5	0,5	35	0,25	10
13	0 ÷ +50	20 ± 5	0,3	40	0,25	10
14	0 ÷ +50	20 ± 5	0,4	45	0,25	10
15	0 ÷ +50	20 ± 5	1,0	10	0,25	10
16	0 ÷ +50	20 ± 5	0,25	30	0,3	15
17	0 ÷ +50	20 ± 5	0,5	35	0,3	15
18	0 ÷ +50	20 ± 5	0,3	40	0,3	15
19	0 ÷ +50	20 ± 5	0,4	45	0,3	15
20	-50 ÷ +50	20 ± 5	1,0	10	0,3	15
21	-50 ÷ +50	20 ± 5	0,25	30	0,1	5
22	-50 ÷ +50	20 ± 5	0,5	35	0,1	5
23	-50 ÷ +50	20 ± 5	0,3	40	0,1	5
24	-50 ÷ +50	20 ± 5	0,4	45	0,1	5
25	-50 ÷ +50	20 ± 5	1,0	10	0,1	5

Таблица Б.2 – РГР №2, варианты задания №1, задача 2

№ варианта	Средство измерения	Относительная погрешность, %	Номинальное значение измеряемой величины	Показания средства измерения
1	вольтметр	1,0	127 В	130 В
2	вольтметр	1,5	12 В	10 В
3	вольтметр	1,0	25 В	26 В
4	вольтметр	1,5	60 В	62 В
5	вольтметр	0,5	25 В	27 В
6	потенциометр	0,5	450 °C	455 °C

Окончание таблицы Б.2

№ варианта	Средство измерения	Относительная погрешность, %	Номинальное значение измеряемой величины	Показания средства измерения
7	потенциометр	0,4	600 °С	605 °С
8	потенциометр	1,0	750 °С	745 °С
9	потенциометр	1,5	1100 °С	1110 °С
10	потенциометр	0,2	500 °С	506 °С
11	омметр	4,0	50 Ом	55 Ом
12	омметр	5,0	250 Ом	255 Ом
13	омметр	2,5	850 Ом	855 Ом
14	омметр	2,0	1000 Ом	1100 Ом
15	омметр	2,5	1750 Ом	1800 Ом
16	амперметр	0,5	25 мА	22 мА
17	амперметр	0,2	50 мА	48 мА
18	амперметр	0,4	30 мА	31 мА
19	амперметр	0,5	90 мА	91 мА
20	амперметр	1,0	10 мА	9 мА
21	манометр	2,0	40 кПа	38 кПа
22	манометр	2,5	50 кПа	55 кПа
23	манометр	1,5	60 кПа	65 кПа
24	манометр	1,0	30 кПа	32 кПа
25	манометр	2,5	65 кПа	70 кПа

Таблица Б.3- РГР №2, варианты задания №2, задача 3

№ варианта	Амперметр			Вольтметр	
	И _{ном} , А	Диапазон измерений, А	Кл	U _{ном} , В	Диапазон измерений, В
1	3,5	0 ÷ 5	0,25	30	0 ÷ 50
2	3,5	0 ÷ 5	0,5	35	0 ÷ 50
3	3,5	0 ÷ 5	0,3	40	0 ÷ 50
4	3,5	0 ÷ 5	0,4	45	0 ÷ 50
5	3,5	0 ÷ 5	1,0	10	0 ÷ 50
6	4,0	0 ÷ 5	0,25	30	0 ÷ 50
7	4,0	0 ÷ 5	0,5	35	0 ÷ 50
8	4,0	0 ÷ 5	0,3	40	0 ÷ 50
9	4,0	0 ÷ 5	0,4	45	0 ÷ 50
10	4,0	0 ÷ 5	1,0	10	0 ÷ 50
11	3,0	0 ÷ 5	0,25	30	0 ÷ 50
12	3,0	0 ÷ 5	0,5	35	0 ÷ 50
13	3,0	0 ÷ 5	0,3	40	0 ÷ 50

Окончание таблицы Б.3

14	3,0	0 ÷ 5	0,4	45	0 ÷ 50
15	3,0	0 ÷ 5	1,0	10	0 ÷ 50
16	2,5	0 ÷ 5	0,25	30	0 ÷ 50
17	2,5	0 ÷ 5	0,5	35	0 ÷ 50
18	2,5	0 ÷ 5	0,3	40	0 ÷ 50
19	2,5	0 ÷ 5	0,4	45	0 ÷ 50
20	2,5	0 ÷ 5	1,0	10	0 ÷ 50
21	2,0	0 ÷ 5	0,25	30	0 ÷ 50
22	2,0	0 ÷ 5	0,5	35	0 ÷ 50
23	2,0	0 ÷ 5	0,3	40	0 ÷ 50
24	2,0	0 ÷ 5	0,4	45	0 ÷ 50
25	2,0	0 ÷ 5	1,0	10	0 ÷ 50

Таблица Б.4- РГР №2, варианты задания №2, задача 4

№ варианта	Амперметр		Потенциометр		Ртутный термометр	
	Кл	Шкала, А	Тип	Цена деления, мВ	Шкала, °С	Предел допуск. погрешно- сти, °С
1	0,25	0 ÷ 50	ПП-63	0,05	0 ÷ 100	0,2
2	0,5	0 ÷ 50	ПП-63	0,05	0 ÷ 100	0,2
3	0,3	0 ÷ 50	ПП-63	0,05	0 ÷ 100	0,2
4	0,4	0 ÷ 50	ПП-63	0,05	0 ÷ 100	0,2
5	1,0	0 ÷ 50	ПП-63	0,05	0 ÷ 100	0,2
6	0,25	0 ÷ 50	ПП-63	0,05	0 ÷ 100	0,2
7	0,5	0 ÷ 50	ПП-63	0,05	0 ÷ 100	0,2
8	0,3	0 ÷ 50	ПП-63	0,05	0 ÷ 100	0,2
9	0,4	0 ÷ 50	КСП-1	0,5	0 ÷ 100	0,2
10	1,0	0 ÷ 50	КСП-1	0,5	0 ÷ 100	0,2
11	0,25	0 ÷ 50	КСП-1	0,5	0 ÷ 100	0,2
12	0,5	0 ÷ 50	КСП-1	0,5	0 ÷ 100	0,2
13	0,3	0 ÷ 60	КСП-1	0,5	100 ÷ 150	0,1
14	0,4	0 ÷ 60	КСП-1	0,5	100 ÷ 150	0,1
15	1,0	0 ÷ 60	КСП-2	0,2	100 ÷ 150	0,1
16	0,25	0 ÷ 60	КСП-2	0,2	100 ÷ 150	0,1
17	0,5	0 ÷ 60	КСП-2	0,2	100 ÷ 150	0,1
18	0,3	0 ÷ 60	КСП-2	0,2	100 ÷ 150	0,1
19	0,4	0 ÷ 60	КСП-2	0,2	100 ÷ 150	0,1
20	1,0	0 ÷ 60	КСП-4	0,1	100 ÷ 150	0,1
21	0,25	0 ÷ 60	КСП-4	0,1	100 ÷ 150	0,1
22	0,5	0 ÷ 60	КСП-4	0,1	100 ÷ 150	0,1

Окончание таблицы Б.4

23	0,3	0 ÷ 60	КСП-4	0,1	100 ÷ 150	0,1
24	0,4	0 ÷ 60	КСП-4	0,1	100 ÷ 150	0,1
25	1,0	0 ÷ 60	КСП-4	0,1	100 ÷ 150	0,1

Таблица Б.5- РГР №2, варианты задания №2, задача 4

№ варианта	Термоэлектрический термометр	Характеристики трубы				
		R_0 , Ом	δ_R , %	$\alpha \cdot 10^3$, 1/K	l , мм	d , мм
1	ТХА	0,5	0,1	4,0	150 ± 0,5	15 ± 0,01
2	ТХА	0,5	0,1	4,0	150 ± 0,5	15 ± 0,01
3	ТХА	0,5	0,1	4,0	150 ± 0,5	15 ± 0,01
4	ТХА	0,5	0,1	4,0	150 ± 0,5	15 ± 0,01
5	ТХА	0,5	0,1	4,0	150 ± 0,5	15 ± 0,01
6	ТХА	0,5	0,15	4,0	150 ± 0,5	15 ± 0,01
7	ТХА	0,5	0,15	4,0	150 ± 0,5	15 ± 0,01
8	ТХА	0,5	0,15	4,0	150 ± 0,5	15 ± 0,01
9	ТХА	0,5	0,15	4,0	150 ± 0,5	15 ± 0,01
10	ТХА	0,5	0,15	4,0	150 ± 0,5	15 ± 0,01
11	ТХА	0,5	0,15	4,0	150 ± 0,5	15 ± 0,01
12	ТХА	0,5	0,25	4,0	150 ± 0,5	15 ± 0,01
13	ТПП	1,0	0,25	4,3	100 ± 0,2	20 ± 0,05
14	ТПП	1,0	0,25	4,3	100 ± 0,2	20 ± 0,05
15	ТПП	1,0	0,25	4,3	100 ± 0,2	20 ± 0,05
16	ТПП	1,0	0,25	4,3	100 ± 0,2	20 ± 0,05
17	ТПП	1,0	0,25	4,3	100 ± 0,2	20 ± 0,05
18	ТПП	1,0	0,3	4,3	100 ± 0,2	20 ± 0,05
19	ТПП	1,0	0,3	4,3	100 ± 0,2	20 ± 0,05
20	ТПП	1,0	0,3	4,3	100 ± 0,2	20 ± 0,05
21	ТПП	1,0	0,3	4,3	100 ± 0,2	20 ± 0,05
22	ТПП	1,0	0,3	4,3	100 ± 0,2	20 ± 0,05
23	ТПП	1,0	0,3	4,3	100 ± 0,2	20 ± 0,05
24	ТПП	1,0	0,3	4,3	100 ± 0,2	20 ± 0,05
25	ТПП	1,0	0,3	4,3	100 ± 0,2	20 ± 0,05

Таблица Б.6- РГР №2, варианты задания №2, задача 4

№ варианта	I, А	t_c , °C	t_B , °C
1	30	220	50
2	32	230	55
3	34	240	60
4	36	250	65
5	38	210	70

Окончание таблицы Б.6

6	40	260	75
7	42	270	80
8	44	280	85
9	45	290	70
10	35	300	60
11	25	310	50
12	30	320	55
13	32	340	120
14	34	330	110
15	36	210	105
16	38	350	115
17	40	340	125
18	42	330	130
19	44	320	135
20	46	310	140
21	48	300	145
22	50	290	105
23	52	280	110
24	54	270	115
25	55	250	120

Приложение В

Таблица В.1 – РГР №3, варианты задания №1

Исходный параметр	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P, \text{ Н}$	100	500	1000	100	500	1000	100	500	1000	100
$\sigma_T, \text{ МПа}$	2,4	2,4	2	2	3	1,9	3	1,9	3	2
$[S_P]$	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2
Исходный параметр	Варианты									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$P, \text{ Н}$	500	1000	100	500	1000	100	500	1000	100	500
$\sigma_T, \text{ МПа}$	2	2,4	1,5	1,9	1,5	2	1,5	2	2	2
$[S_P]$	1	2	3	1	2	3	1	2	1	3
Исходный параметр	Варианты									
	21	22	23	24	25					
$P, \text{ Н}$	500	1000	100	500	1000					
$\sigma_T, \text{ МПа}$	1,9	2,4	2,4	2,4	2					
$[S_P]$	3	1	2	1	1					

Таблица В.2 – РГР №3, варианты задания №2

Исходный параметр	Варианты												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$V_k, \text{ м}^3$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Исходный параметр	Варианты												
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$V_k, \text{ м}^3$	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125

Список литературы

- 1 Герасимова Е.Б. Метрология, стандартизация и сертификация. – М., 2008.
- 2 Дубовой Н.Д. Основы метрологии, стандартизации, сертификации.- М., 2008
- 3 Хан С.Г. Метрология, измерения и техническое регулирование: Учебное пособие –Алматы: АИЭС, 2009.
- 4 Хан С.Г. Метрология и измерения: Конспект лекций (для студентов всех форм обучения специальности 050702 – Автоматизация и управление). – Алматы: АУЭС, 2010.- 66 с.
- 5 Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы: Учебник для вузов по специальности «Автоматизация теплоэнергетических процессов». – М.: Энергия, 2008.
- 6 Комаров Д.М. Математические модели оптимизации требований стандартов. – М.: Изд-во стандартов, 2006.

Светлана Гурьевна Хан

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
КАЧЕСТВОМ

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ
для студентов специальности
5В070200 – Автоматизация и управление

Редактор Н.М. Голева
Специалист по стандартизации Н.К. Молдабекова

Подписано в печать ____ . ____ . ____ .
Тираж 45 экз.
Объем 2,7 уч.-изд. л.

Формат 60x84 1/16
Бумага типографская №1
Заказ _____. Цена 1350 тг.

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, Байтурсынова, 126