

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»

**МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И
СЕРТИФИКАЦИЯ.
ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ**

Методические указания
к практическим занятиям

Пермь, 2022

1. Погрешности измерений

Выполнение условий обеспечения *единства измерений* предполагает использование в представлении результатов измерений узаконенных единиц измерения, а также оценку точности, выраженную величиной погрешности в виде интервала значений, которые она принимает с некоторой гарантированной вероятностью.

Погрешность измерения – отклонение результата измерения от истинного значения физической величины. Поскольку истинное значение неизвестно, при оценке погрешности используется *действительное* значение физической величины.

Действительное значение физической величины это значение физической величины, полученное экспериментально и настолько приближенное к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него.

1.1. Классификация погрешностей

Для *численного выражения* погрешности используются три вида оценок.

Абсолютная погрешность (Δ) – это разность между измеренным (X) и действительным (A) значениями величины:

$$\Delta = X - A. \quad (1)$$

Абсолютная погрешность выражается в единицах измеряемой величины и может быть положительной или отрицательной. Абсолютная погрешность не всегда является достаточной или наглядной информацией о точности измерения. Для сравнения измерений по точности абсолютную погрешность полезно соотнести с размером самой измеряемой величины. Относительная погрешность (δ) выражается в процентах и вычисляется по формуле

$$\delta = \frac{\Delta}{X} \cdot 100\%. \quad (2)$$

При необходимости охарактеризовать точность какого-либо измерительного прибора и сравнить различные приборы между собой по точности измерения, абсолютная погрешность также оказывается недостаточно информативной. Если соотнести её с диапазоном измерения (D) прибора, то получается приведённая погрешность (γ). Единицей её измерения также являются проценты:

$$\gamma = \frac{\Delta}{D} \cdot 100\% = \frac{\Delta}{X_K - X_H} \cdot 100\% = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где D – диапазон измерений; X_H и X_K – начальная и конечная точки шкалы прибора. Значение D является некоторой фиксированной величиной, которую обычно называют *нормирующим значением* измеряемой величины X_N .

По закономерностям проявления погрешности делятся на систематические, случайные и прогрессирующие.

Систематическая (или коррелированная) погрешность θ это постоянная или закономерно изменяющаяся погрешность при повторных измерениях одной и той же постоянной величины. Систематическая погрешность может быть частично скорректирована вводом поправки $\nabla = -\Delta$. Эта часть систематической погрешности называется исключенной. Оставшаяся часть систематической погрешности называется *неисключенной систематической погрешностью* НСП.

По причинам возникновения систематическую погрешность можно разделить на

- методическую – погрешность метода или расчетной формулы, влияние средства измерения на параметры измерительного сигнала;
- инструментальную – следствие недостатка конструкции прибора, регулировки или износа;
- погрешность взаимодействия – следствие взаимодействия прибора с объектом измерения;
- субъективную погрешность – влияние наблюдателя и его навыков работы с измерительным прибором.

Случайная (некоррелированная) погрешность ε изменяется случайным образом при повторных измерениях одной и той же постоянной величины, выполненных с одинаковой тщательностью. Систематические и случайные погрешности проявляются одновременно $\Delta = \theta + \varepsilon$.

По отношению к измеряемой величине различают

- аддитивную погрешность a , которая не зависит от значения измеряемой величины (погрешность нуля)

$$\Delta = a, \quad \delta = \frac{a}{x}.$$

- мультипликативную погрешность bx – погрешность, пропорциональную измеряемой величине

$$\Delta = bx, \quad \delta = b.$$

Погрешность измерения может одновременно включать как аддитивную, так и мультипликативную составляющие

$$\Delta = a + bx.$$

По характеру проявления во времени погрешности могут быть постоянными, переменными и промахами.

В зависимости от изменения измеряемой величины во времени погрешности бывают двух видов:

- *статическая* погрешность – погрешность, возникающая при измерении величины, которая не изменяется во времени;
- *динамическая* погрешность – дополнительная погрешность, возникающая в результате непрерывного изменения измеряемой величины во времени.

По отношению к средствам измерения различают

- *основную* погрешность прибора – погрешность при нормальных условиях эксплуатации;
- *дополнительную* погрешность – погрешность, возникающую при отклонении условий эксплуатации от нормальных.

1.2. Классы точности средств измерения

Класс точности – это обобщенная метрологическая характеристика средства измерения, определяемая предельными значениями допустимой погрешности (ГОСТ 8.401-80).

Если погрешность средства измерения имеет аддитивный характер, класс точности задается предельным значением приведенной погрешности

$$\gamma_{\text{пр}} = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\% = \pm p, \quad \Delta = \pm a.$$

Если погрешность средства измерения имеет мультипликативный характер, класс точности задается предельным значением относительной погрешности

$$\delta_{\text{пр}} = \frac{\Delta}{X} \cdot 100\% = \pm q, \quad \Delta = \pm bx.$$

Если погрешность средства измерения имеет аддитивную и мультипликативную составляющую, класс точности задается предельным значением относительной погрешности

$$\delta_{\text{пр}} = c + d \left(\frac{X_N}{X} - 1 \right). \quad (4)$$

Этим способом нормируются как аддитивная, так и мультипликативная составляющие погрешности средств измерения высокой точности (c/d).

Числа p, q, c, d выбирают из ряда $m \cdot 10^n$, где $m = 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6$; $n = 1; 0; -1; -2; -3 \dots$

Указывая класс точности, изготовитель гарантирует, что погрешность любого одиночного измерения окажется не больше названной величины. Поскольку каждое единичное измерение содержит как систематическую, так и случайную погрешности, то и класс точности должен учитывать обе эти погрешности.

1.3. Способы представления результатов измерений

При оценке погрешностей обычно указывают интервалы, за границы которого значение погрешности не выйдет с некоторой вероятностью.

Интервал значений, которые принимает погрешность с некоторой вероятностью, называется *доверительным интервалом*, а характеризующая его вероятность – *доверительной вероятностью*.

На практике применяются различные значения доверительной вероятности

$$0,90 \quad 0,95 \quad 0,98 \quad 0,99 \quad 0,997(3\sigma) \quad 0,999$$

В практике технических измерений принято использование доверительной вероятности $p = 0,95$. Если погрешность задана предельными значениями, то значение доверительной вероятности $p = 1$.

Доверительный интервал является одной из основных характеристик точности измерений.

В соответствии с методическими рекомендациями МИ 1317-2004 ГСИ "Результаты и характеристики погрешностей измерений"[2] форма представления результатов имеет вид

$$x; \Delta x_{\text{н}}; \Delta x_{\text{в}}; p \quad \text{или} \quad x; \pm \Delta x; p.$$

В другой форме записи приводятся отдельные характеристики систематической и случайной погрешностей.

При записи значения погрешности используют *не более двух значащих цифр*, а результат измерения округляется до младшего разряда погрешности. При выполнении заданий следует внимательно следить за соблюдением этих рекомендаций. При округлении результатов измерений необходимо строго следовать математическим правилам округления.

2. Виды измерений

Измерения как экспериментальные процедуры очень разнообразны. В зависимости от от способа обработки с целью нахождения результата измерения подразделяются на следующие виды.

Прямое измерение – измерение, при котором искомое значение физической величины находят непосредственно из опытных данных. Пример: измерение вольтметром напряжения на участке цепи.

Косвенное измерение – измерение, при котором искомое значение физической находят на основании известной зависимости между данной величиной и величинами, полученными прямыми измерениями.

$$x = f(x_1, x_2, \dots x_n)$$

Пример: косвенное измерение сопротивления резистора $R = U/I$.

Совокупные измерения – одновременное измерение нескольких *одноименных* величин, каждую из которых находят решением системы уравнений, составленных по результатам измерений различных сочетаний этих величин.

Совместные измерения – одновременные измерения нескольких *неодноименных* величин для нахождения функциональной зависимости между ними.

В зависимости от объекта измерения и поставленной задачи измерения выполняют с *однократными* или *многократными* наблюдениями. Наблюдение это эксперимент, в результате которого получают одно из группы значений измеряемой величины. В случае измерений с многократными наблюдениями для получения результата измерения необходима статистическая обработка результатов наблюдений.

В зависимости от режима работы измерительных средств измерения разделяют на *статические* и *динамические*. При статических измерениях величина не меняется во времени, при динамических – измеряемая величина непрерывно изменяется во времени.

2.1. Оценка погрешности прямых однократных измерений

Обработка результатов прямых однократных измерений выполняется в соответствии с рекомендациями стандарта Р 50.2.038-2004 [3]. При прямых однократных измерениях считается, что случайная погрешность много меньше систематической. Оценка погрешности прямого однократного измерения включает

- определение методической погрешности;
- определение неисключенной систематической погрешности (НСП), которая включает основную и дополнительную погрешность средства измере-

ния, определенную на основе метрологических характеристик, погрешность метода и оператора.

Характеристикой НСП могут быть

- границы $\pm\theta$;
- доверительный границы $\pm\theta(p)$, $p = 0,95$ в технических измерениях.

Если в НСП входит только одна составляющая, она выражается границами этой погрешности. Если их несколько, суммарная погрешность

$$\theta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \theta_i \quad (p = 1). \quad (5)$$

Доверительные границы $\theta(p)$ вычисляются по формуле

$$\theta(p) = k \sqrt{\sum_{i=1}^n \theta_i^2}, \quad (6)$$

где коэффициент k определяется доверительной вероятностью и числом составляющих n . При $p = 0,95$ коэффициент $k = 1,1$.

При $n > 4$

p	0,9	0,95	0,98	0,99
k	0,95	1,1	1,3	1,4

При других условиях коэффициент k можно найти по графикам в Р 50.2.038-2004 [3] или ГОСТ 8.207-76 [4].

Для исключения промахов при однократных измерениях на практике делают 2-3 измерения и за результат принимают среднее значение. Предельная погрешность в однократных измерениях в основном определяется классом точности средства измерения.

2.2. Оценка погрешности прямых измерений с многократными наблюдениями

Обработка результатов многократных равноточных наблюдений выполняется в соответствии с ГОСТ 8.207-76 “Прямые измерения с многократными наблюдениями” [4]. Последовательность обработки включает следующие этапы:

- 1) Исправление результатов, исключение систематических погрешностей (если это возможно).

2) Вычисляется среднее арифметическое значение

$$m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (7)$$

3) Вычисляется среднее квадратическое отклонение (СКО) единичных наблюдений

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2}{n - 1}}. \quad (8)$$

4) Исключаются промахи. Предполагая, что погрешность распределена по нормальному закону, исключаем измерения, для которых $|x_i - m_x| > 3\sigma$. После исключения промахов заново выполняются пункты 2 и 3.

5) Вычисляется среднее квадратическое отклонение (СКО) для среднего арифметического

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2}{n(n - 1)}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (9)$$

6) Проверяется гипотеза, что результаты наблюдений соответствуют нормальному закону распределения. При $n \geq 50$ применяется критерий Пирсона (χ^2), при $15 \leq n < 50$ для проверки гипотезы о нормальном распределении используют составной критерий (приложение ГОСТ 8.207), при $n < 15$ гипотезу не проверяют, а исходят из предположения о верности гипотезы.

7) Выполняется построение кривых распределения.

8) Определяются доверительные границы случайной погрешности при заданной доверительной вероятности ($p = 0,95$)

$$\varepsilon = t_q(P, n) \cdot S_x, \quad (10)$$

где t_q – коэффициент Стьюдента. При $p = 0,95$

$n - 1$	4	5	6	8	10	12	16	20	24	30	∞
t_q	2,776	2,571	2,447	2,306	2,228	2,176	2,120	2,086	2,064	2,043	1,960

9) По формуле (6) определяются границы суммарной неисключенной систематической погрешности (при условии равномерного распределения НСП)

$$\theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \theta_i^2}, \quad \text{если } p = 0,95, \text{ коэффициент } k = 1,1.$$

10) Определение доверительных границ результата измерения Δ .

Если $\frac{\theta}{S_x} < 0,8$, то НСП по сравнению со случайными погрешностями можно пренебречь, т.е. $\Delta = \varepsilon$.

Если $\frac{\theta}{S_x} > 8$, то случайной погрешностью по сравнению с НСП можно пренебречь, т.е. $\Delta = \theta$.

Если указанные неравенства не выполняются, то доверительные границы погрешности находят путем композиции распределений случайной и неисключенной систематической погрешностей

$$\Delta = K \cdot S_{\Sigma}, \quad (11)$$

где S_{Σ} – оценка суммарного среднего квадратического отклонения

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\theta_i^2}{3} + S_x^2}, \quad (12)$$

а коэффициент K зависит от соотношения случайной и неисключенной систематической погрешности

$$K = \frac{\varepsilon + \theta}{S_x + \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\theta_i^2}{3}}}. \quad (13)$$

11) Окончательный результат записывается в форме

$$m_x \pm \Delta, \quad p$$

или в более полной форме

$$m_x, \quad S_x, \quad n, \quad \theta, \quad p.$$

2.3. Погрешности косвенных измерений

При косвенных измерениях искомое значение величины находят на основе других величин, связанных с искомой функциональной зависимостью

$$A = f(a_1, a_2, \dots, a_n).$$

Погрешность величины A зависит от погрешностей измерения аргументов a_i . При косвенных измерениях оценку погрешности результата производят на основе линеаризации функциональной зависимости разложением в ряд Тейлора и ограничиваясь членами ряда, содержащими только первые производные. Тогда

$$\Delta A = \left| \frac{\partial f}{\partial a_1} \right| \Delta a_1 + \left| \frac{\partial f}{\partial a_2} \right| \Delta a_2 + \dots + \left| \frac{\partial f}{\partial a_n} \right| \Delta a_n, \quad (14)$$

где Δa_i – погрешность измерения аргумента a_i ,

$\frac{\partial f}{\partial a_i} = b_i$ – значение частной производной функции f по аргументу a_i в точке, соответствующей действительному значению A_d .

В случае большого числа аргументов более точная оценка погрешности выполняется по формулам

$$\Delta A = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a_1}\right)^2 \Delta a_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial a_2}\right)^2 \Delta a_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial a_n}\right)^2 \Delta a_n^2}, \quad (15)$$

$$\delta A = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln f}{\partial a_1}\right)^2 \Delta a_1^2 + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial a_2}\right)^2 \Delta a_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial a_n}\right)^2 \Delta a_n^2}. \quad (16)$$

Если результаты прямых измерений a_i определены со среднеквадратическими отклонениями S_i , то

$$S_A = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a_1}\right)^2 S_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial a_2}\right)^2 S_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial a_n}\right)^2 S_n^2}. \quad (17)$$

В следующих частных случаях можно пользоваться простыми правилами:

- 1) При линейных косвенных измерениях (суммы и разности) складываются абсолютные погрешности аргументов

$$A = \sum_{i=1}^n b_i a_i, \quad \Delta A = \sum_{i=1}^n b_i \Delta a_i, \quad \delta A = \frac{\Delta A}{A}.$$

- 2) При умножении на число погрешность умножается на это число

$$A = ba, \quad \Delta A = b\Delta a.$$

- 3) При умножении и делении складываются относительные погрешности аргументов

$$A = a_1 a_2 \text{ или } A = \frac{a_1}{a_2}, \quad \delta A = \delta a_1 + \delta a_2.$$

- 4) При вычислении функции

$$A = f(a), \quad \Delta A = \left| \frac{dA}{da} \right| \Delta a, \quad \delta A = \left| \frac{f'(a)}{f(a)} \right| \Delta a.$$

2.4. Обработка результатов совместных измерений

Цель совместных измерений – установление зависимости между измеряемыми величинами $y = f(x)$.

Для нахождения зависимости между переменными величинами x и y необходимо последовательно устанавливая значения x измерить величину y . По результатам измерений строится таблица с координатами точек, принадлежащих искомой зависимости. Результаты измерений содержат погрешности, то есть строго не принадлежат искомой зависимости $y = f(x)$.

Для того, чтобы приблизиться к ней наилучшим образом, необходимо решить задачу аппроксимации. Оптимальный подход основан на методе наименьших квадратов. Суть метода состоит в том, что наиболее вероятные значения искомой аналитической зависимости будут те, при которых сумма квадратов отклонений от измеренных значений будет наименьшей

$$\sum_{i=1}^n (y_i - y)^2 \rightarrow \min .$$

Пусть известно, что искомая зависимость между x и y имеет линейный характер $y = ax + b$ и измерены n пар значений x_i , y_i . Необходимо определить коэффициенты a и b из условия

$$S = \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i + b)]^2 \rightarrow \min .$$

Найдем частные производные по параметрам a и b и приравняем их к нулю

$$\frac{\partial S}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i + b)] x_i = 0 ,$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i + b)] = 0 .$$

Полученная после раскрытия скобок система уравнений

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i , \\ a \sum_{i=1}^n x_i + b n = \sum_{i=1}^n y_i \end{cases}$$

решается по формулам Крамера

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} , \quad b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} . \quad (18)$$

Среднее квадратическое отклонение σ_y можно найти по формуле

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2}{n - 2}.$$

Алгоритм вычислений:

- 1) По данным таблицы x_i , y_i в каждой строке вычисляются x_i^2 и произведения $x_i y_i$.
- 2) Подсчитываются суммы в каждом столбце таблицы.
- 3) Вычисляются значения a и b по приведенным формулам.

3. Примеры решения задач

- 1) При измерении активного сопротивления резистора были произведены десять равноточных измерений: 23, 76; 23, 16; 24, 81; 24, 75; 23, 01; 24, 66; 24, 12; 23, 65; 24, 07; 23, 31 Ом. Относительная погрешность средства измерений 1,0 %. Необходимо оценить результат измерения сопротивления при доверительной вероятности 0,95.

Среднее арифметическое значение по формуле (7)

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i = 23,93.$$

По формуле (8) вычисляем среднее квадратическое отклонение СКО единичных наблюдений

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{n-1}} = 0,664.$$

Предполагая, что погрешность распределена по нормальному закону, исключаем “промахи”, то есть наблюдения с грубыми погрешностями, для которых

$$|R_i - \bar{R}| > 3\sigma.$$

После исключения “промахов” расчёт начинается с начала. В этом примере нет наблюдений, погрешность которых превышает величину 3σ .

Используя формулу (9), вычисляем СКО среднего арифметического (СКО результата измерений)

$$S_{\bar{R}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{n(n-1)}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 0,210.$$

При числе наблюдений $n = 10$ проверка статистической гипотезы о нормальном распределении случайной погрешности не выполняется.

Определяем по формуле (10) доверительные границы случайной погрешности при заданной доверительной вероятности $p = 0,95$

$$\varepsilon = t_q \cdot S_{\bar{R}},$$

где $t_q(P, n)$ – коэффициент Стьюдента, зависящий от доверительной вероятности p и числа наблюдений n .

**Значение коэффициента t для случайной величины Y ,
имеющей распределение Стьюдента
с $n - 1$ степенями свободы**

$n - 1$	$P = 0,95$	$P = 0,99$	$n - 1$	$P = 0,95$	$P = 0,99$
3	3,182	5,841	16	2,120	2,921
4	2,776	4,604	18	2,101	2,878
5	2,571	4,032	20	2,086	2,845
6	2,447	3,707	22	2,074	2,819
7	2,365	3,499	24	2,064	2,797
8	2,306	3,355	26	2,056	2,779
9	2,262	3,250	28	2,048	2,763
10	2,228	3,169	30	2,043	2,750
12	2,179	3,055	∞	1,960	2,576
14	2,145	2,977			

Выбирая коэффициент t из таблицы (приводится в [4], а также в справочниках), получаем

$$\varepsilon = 2,262 \cdot 0,21 = 0,47.$$

Измерения проводились средством измерения с предельной относительной погрешностью 1,0%. Неисключённая систематическая погрешность измерения (НСП) включает предельную абсолютную погрешность средства измерения, которую можно определить из формулы (2)

$$\theta_{\text{пр}} = \frac{23,93 \cdot 1,0}{100} = 0,24.$$

Учитывая, что систематическая погрешность описывается равномерным законом распределения, доверительные границы НСП с вероятностью $p = 0,95$ составят

$$\theta = 0,24 \cdot 0,95 = 0,23.$$

Определяем отношение

$$0,8 < \frac{\theta}{S_{\bar{R}}} = \frac{0,23}{0,21} = 1,095 < 8,$$

из которого следует, что доверительные границы погрешности результата измерения следует искать в виде композиции случайной и неисключённой систематической составляющих погрешности.

Суммарное среднеквадратическое отклонение результата измерения определяется по формуле (12)

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=0}^m \frac{\theta_i^2}{3} + S_{\bar{R}}^2} = \sqrt{\frac{0,24^2}{3} + 0,21^2} = 0,252,$$

а коэффициент, зависящий от соотношения случайной и систематической составляющей погрешности, – по формуле (13)

$$K = \frac{\varepsilon + \theta}{S_{\bar{R}} + \sqrt{\sum_{i=0}^m \frac{\theta_i^2}{3}}} = \frac{0,47 + 0,23}{0,21 + \sqrt{\frac{0,24^2}{3}}} = 2,008.$$

Доверительные границы погрешности результата измерений вычисляются по формуле (11)

$$\Delta = K \cdot S_{\Sigma} = 2,008 \cdot 0,252 = 0.506.$$

Окончательный результат измерения записываем в соответствии с рекомендациями [2], округляя погрешность до 2-х значащих цифр, а результат до младшего разряда погрешности:

$$R = (23,93 \pm 0,51) \text{ Ом}, p = 0,95.$$

- 2) При поверке после ремонта вольтметра класса точности 2,5 с конечным значением шкалы 5 В, в точках шкалы 1, 2, 3, 4, 5 В получены показания образцового прибора при возрастании показаний 1,08; 1,97; 2,96; 3,95; 4,96 В и при убывании 1,03; 1,95; 2,93; 3,88; 4,90 В соответственно.

Из формулы (2) следует, что предельная допускаемая абсолютная погрешность прибора равна

$$\Delta_{max} = 5,0 \cdot \frac{2,5}{100} = 0,125 \text{ В}.$$

Вычислим абсолютную погрешность прибора, вариацию показаний и приведенную погрешность в каждой точке шкалы прибора. Результаты вычислений запишем в виде таблицы:

Поверяемая точка, В	Образцовые показания, В		Абсолютная погрешность, В	Вариация показаний, В	Приведенная погрешность, %
1	1,08	1,03	0,08	0,05	1,6
2	1,97	1,95	0,05	0,02	1,0
3	2,96	2,93	0,07	0,03	1,4
4	3,95	3,88	0,12	0,07	2,4
5	4,96	4,90	0,10	0,06	2,0

Ни в одной точке шкалы погрешность прибора и вариация показаний не превышают предельно допустимого значения. Следовательно, после ремонта прибор соответствует своему классу точности.

- 3) Оценить погрешность прямого однократного измерения напряжения $U = 0,9$ В на сопротивлении $R = 4$ Ом, выполненного вольтметром класса точности 0,5 с верхним пределом измерения $U_n = 1,5$ В и имеющим сопротивление $R_V = 1000$ Ом. Известно, что дополнительные погрешности показаний средства измерения из-за влияния магнитного поля и температуры не превышают соответственно $\delta_M = \pm 0,75\%$ и $\delta_T = \pm 0,3\%$ допускаемой предельной погрешности.

По формулам (2) и (3) предел допускаемой относительной погрешности вольтметра на отметке 0,9 В составляет

$$\delta_x = \gamma_{\text{СИ}} \frac{U_n}{U} = 0,5 \cdot \frac{1,5}{0,9} = 0,83\%.$$

При подсоединении вольтметра исходное напряжение U_x изменится из-за наличия внутреннего сопротивления вольтметра R_V и составит

$$U_V = \frac{R_V}{R + R_V} U_x.$$

Тогда относительная методическая погрешность, обусловленная конечным значением R_V будет равна

$$\delta_m = \frac{U_V - U_x}{U_x} 100 = -\frac{R}{R + R_V} 100 = -\frac{4 \cdot 100}{1004} = -0,4\%.$$

Данная методическая погрешность является систематической составляющей погрешности измерения и должна быть внесена в результат в виде поправки $-\delta_m = 0,4\%$, или в абсолютной форме

$$q = \frac{-\delta_m \cdot U}{100} = \frac{0,4 \cdot 0,9}{100} = 0,004 \text{ В}.$$

Тогда результат измерения с учетом поправки $\bar{U}_x = 0,900 + 0,004 = 0,904$ В.

Поскольку основная и дополнительная погрешности заданы своими граничными значениями, они могут рассматриваться как неисключённые систематические погрешности.

При оценке границ НСП рассматривают как случайные величины, распределённые по равномерному закону. Границы НСП результата измерения θ вычисляются по формуле (6). При доверительной вероятности $p = 0,95$ доверительный интервал неисключённой систематической составляющей в относительном выражении будет равен

$$\delta\theta = 1,1 \sqrt{0,83^2 + 0,75^2 + 0,3^2} = 1,1 \cdot 1,16 = \pm 1,3\%,$$

а в абсолютной форме

$$\Delta = \frac{\delta\theta \cdot U}{100} = \pm 1,3 \cdot 0,9 \cdot 10^{-2} = \pm 0,012 \text{ В}.$$

Окончательный ответ в соответствии с правилами записи результатов измерений [2] записывается в виде

$$U = 0,904 \text{ В}, \Delta = 0,012 \text{ В}, p = 0,95.$$

- 4) Токи, измеренные в цепях нагрузок, равны $I_1 = 0,64$; $I_2 = 0,15$; $I_3 = 0,35$ А. Пределы измерения амперметров и классы точности равны соответственно $I_{1m} = 1,0$; $I_{2m} = 0,2$; $I_{3m} = 0,5$ А, $K_1 = 0,5$; $K_2 = 1,5$; $K_3 = 1,0$. Напряжение источника питания $U = 7,15$ В, предел измерения вольтметра $U_{max} = 10,0$ В, класс точности $K_4 = 1,0$. Необходимо оценить потребляемую мощность и её погрешность.

Относительные погрешности измерения токов

$$\delta I_1 = \frac{I_{1m}}{I_1} \cdot K_1 = \frac{1,0}{0,64} \cdot 0,5 = 0,78 \%,$$

$$\delta I_2 = \frac{I_{2m}}{I_2} \cdot K_2 = \frac{0,2}{0,15} \cdot 1,5 = 2,0 \%,$$

$$\delta I_3 = \frac{I_{3m}}{I_3} \cdot K_3 = \frac{0,5}{0,35} \cdot 1,0 = 1,4 \%,$$

Относительная погрешность измерения напряжения U

$$\delta U = \frac{10,0}{7,15} \cdot 1,0 = 1,4 \%.$$

Определим мощность каждой нагрузки

$$P_1 = I_1 \cdot U = 0,64 \cdot 7,15 = 4,58 \text{ Вт},$$

$$P_2 = I_2 \cdot U = 0,15 \cdot 7,15 = 1,07 \text{ Вт},$$

$$P_3 = I_3 \cdot U = 0,35 \cdot 7,15 = 2,50 \text{ Вт}.$$

Предельная относительная погрешность косвенного определения величины мощности нагрузки не превышает суммы относительных погрешностей измерений напряжения и тока

$$\delta P_1 = \delta I_1 + \delta U = 2,2 \%, \quad \Delta P_1 = \frac{2,2 \cdot 4,58}{100} = 0,101 \text{ Вт},$$

$$\delta P_2 = \delta I_2 + \delta U = 3,4\%, \quad \Delta P_1 = \frac{3,4 \cdot 1,07}{100} = 0,036 \text{ Вт},$$

$$\delta P_3 = \delta I_3 + \delta U = 2,8\%, \quad \Delta P_1 = \frac{2,8 \cdot 2,50}{100} = 0,070 \text{ Вт}.$$

Таким образом,

$$P_1 = (4,58 \pm 0,10) \text{ Вт}, \quad P_2 = (1,07 \pm 0,04) \text{ Вт}, \quad P_3 = (2,50 \pm 0,07) \text{ Вт}.$$

Суммарная мощность, потребляемая от источника питания

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 8,15 \text{ Вт}.$$

Предельная абсолютная погрешность определения суммарной мощности не превышает суммы абсолютных погрешностей определения мощности каждой нагрузки. При увеличении числа слагаемых более вероятная оценка погрешности

$$\Delta P = \sqrt{(\Delta P_1)^2 + (\Delta P_2)^2 + (\Delta P_3)^2} =$$

$$= \sqrt{0,101^2 + 0,036^2 + 0,070^2} = 0,128 \text{ Вт}.$$

Следовательно,

$$P = (8,15 \pm 0,13) \text{ Вт}.$$

- 5) Сопротивления $R_1 = 51 \text{ Ом}$ и $R_2 = 68 \text{ Ом}$ с погрешностями величин $\delta R = 5\%$ соединены параллельно и подключены к источнику питания. Ток в цепи $I = 4 \text{ А}$ измерен амперметром класса точности $\gamma = 1,0$ с пределом измерения $I_N = 5 \text{ А}$. Необходимо оценить падение напряжения на этой цепи.

Сопротивление цепи, состоящей из двух параллельно включённых сопротивлений

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Падение напряжения

$$U = IR = I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 4 \cdot \frac{51 \cdot 68}{51 + 68} = 116,57 \text{ В}.$$

Погрешность косвенного измерения напряжения определяется погрешностью измерения тока I в цепи и погрешностями сопротивлений параллельно включенных резисторов R_1 и R_2 . Для оценки погрешности косвенных измерений используют метод линеаризации.

Абсолютные погрешности сопротивлений

$$\Delta R_1 = \frac{51 \cdot 5}{100} = 2,55 \text{ Ом}, \quad \Delta R_2 = \frac{68 \cdot 5}{100} = 3,40 \text{ Ом}.$$

Абсолютная погрешность измерения тока

$$\Delta I = \frac{I_N \cdot \gamma}{100} = \frac{5 \cdot 1}{100} = 0,05 \text{ А}.$$

Границы неисклѹченной систематической погрешности определения падения напряжения определяем по формуле (15)

$$\Delta U = \sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial I}\right)^2 (\Delta I)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial R_1}\right)^2 (\Delta R_1)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial R_2}\right)^2 (\Delta R_2)^2} = 4,852 \text{ В}.$$

В этой формуле значения частных производных

$$\frac{\partial U}{\partial I} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}, \quad \frac{\partial U}{\partial R_1} = \frac{I R_2^2}{(R_1 + R_2)^2}, \quad \frac{\partial U}{\partial R_2} = \frac{I R_1^2}{(R_1 + R_2)^2}$$

вычислены в точке соответствующей значению напряжения $U = 116,57 \text{ В}$ при $I = 4 \text{ А}$, $R_1 = 51 \text{ Ом}$ и $R_2 = 68 \text{ Ом}$.

В записи результата измерения в погрешности оставляем две значащие цифры и результат округляем до младшего разряда погрешности.

Таким образом, $U = (116,6 \pm 4,9) \text{ В}$.

- 6) У биполярного транзистора токи коллектора $I_K = 234 \text{ мА}$ и эмиттера $I_э = 241 \text{ мА}$ измерены микроамперметрами с пределом измерений 250 мА и классом точности $0,25/0,05$. Необходимо найти коэффициенты передачи тока α и β и оценить погрешность их определения.

Коэффициент передачи тока

$$\alpha = \frac{I_K}{I_э} = \frac{234}{241} = 0,9710.$$

Результаты прямых измерений токов представлены числами с тремя значащими цифрами, поэтому результат вычисления коэффициента передачи тока должен содержать не менее трёх значащих цифр, в противном случае погрешность округления при вычислении может оказаться намного больше, чем погрешность косвенного измерения.

Предельные границы погрешности косвенного определения α в этом случае могут быть найдены как сумма относительных погрешностей измерений токов, вычисленных по формуле (4)

$$\delta I_K = c + d \left(\frac{I_N}{I_K} - 1 \right) = 0,25 + 0,05 \left(\frac{250}{234} - 1 \right) = 0,253 \text{ \%}.$$

$$\delta I_9 = c + d \left(\frac{I_N}{I_9} - 1 \right) = 0,25 + 0,05 \left(\frac{250}{241} - 1 \right) = 0,252 \, \%.$$

$$\delta \alpha = \delta I_k + \delta I_9 = 0,505 \, \%.$$

Предельные границы абсолютной погрешности

$$\Delta \alpha = \frac{0,971 \cdot 0,505}{100} = 0,0049.$$

Таким образом, округляя погрешность до одной значащей цифры, а результат до тысячных долей, $\alpha = 0,971 \pm 0,005$.

Коэффициент усиления β связан с α функциональной зависимостью

$$\beta = f(\alpha) = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \frac{0,971}{1 - 0,97} = 32,3.$$

Погрешность определения β

$$\Delta \beta = |f'(\alpha)| \cdot \Delta \alpha = \frac{1}{(1 - \alpha)^2} \cdot \Delta \alpha = \frac{1}{(1 - 0,971)^2} \cdot 0,01 = 11,1.$$

Таким образом, погрешность определения β в этом случае очень велика. Определять коэффициент усиления по току β этим способом не следует.

- 7) Одновременное измерение двух разноименных физических величин относится к совместным измерениям и предназначено для установления функциональной зависимости между ними. По условию задачи необходимо определить линейную функцию преобразования $y = ax + b$, представляющую собой зависимость между входной величиной x (нагрузкой) и выходной величиной y (значением на выходе АЦП) по нескольким парам измеренных значений (x_i, y_i) . Задача заключается в определении параметров линейной зависимости a и b , и решается методом наименьших квадратов (МНК). Для этой цели составляется таблица и вычисляются суммы значений x_i, y_i, x_i^2 и $x_i y_i$.

i	x_i	y_i	x_i^2	$x_i y_i$	$\bar{y}_i$	Δy_i	$\delta y_i, \%$
1	0	2	0	0	1,9	0,1	
2	10	751	100	7510	750,6	0,4	0,05
3	20	1504	400	30080	1499,3	4,7	0,32
4	30	2241	900	67230	2248,0	-7,0	0,31
5	40	2993	1600	119720	2996,7	-3,7	0,12
6	50	3750	2500	187500	3745,4	4,6	0,12
Σ	150	11241	5500	412040	-	-	-

Значения коэффициентов линейной зависимости находятся по формулам (18)

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} = \frac{6 \cdot 412040 - 150 \cdot 11241}{6 \cdot 5500 - 150^2} = 74,87,$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} = \frac{5500 \cdot 11241 - 150 \cdot 412040}{6 \cdot 5500 - 150^2} = 1,86.$$

Функция преобразования измерительного канала имеет вид $\bar{y} = 74,87x + 1,86$. По этой формуле рассчитаны значения $\bar{y}_i$ в шестом столбце таблицы. Абсолютные и относительные погрешности в каждой точке вычисляются по формулам

$$\Delta y_i = y_i - \bar{y}_i; \quad \delta y_i = \frac{\Delta y_i}{y_i} 100 \%.$$

Как видно из таблицы, наибольшая относительная погрешность $\delta y = 0,32 \%$. Наибольшая по модулю абсолютная погрешность преобразования $\Delta y = 7,0$ наблюдается в точке $x = 30$, таким образом, приведённая погрешность равна

$$\gamma = \frac{|\Delta y|_{\max}}{y_{\max} - y_{\min}} = \frac{7,0}{3745,4 - 1,9} \cdot 100 = 0,19 \%.$$

4. Задания для самостоятельной работы

Задание 1. При измерении активного сопротивления резистора были произведены десять равнооточных измерений, результаты которых приведены в таблице 4.1. Предельная относительная погрешность δ средства измерения также указана в таблице 4.1. Оцените погрешности измерения и запишите результат измерения для доверительной вероятности 0,95.

Таблица 4.1

Ном. вар.	Результаты измерений, Ом										δ %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
01	156.7	156.6	156.4	156.9	156.4	155.8	156.5	157.4	156.9	156.4	0.3
02	250.0	248.2	248.9	251.4	249.9	249.7	249.2	251.4	249.5	247.8	0.2
03	632.8	634.8	634.8	634.1	634.1	634.5	634.4	634.9	633.1	633.7	0.2
04	187.9	186.7	184.7	189.1	188.8	188.0	186.0	186.6	187.1	186.3	0.3
05	619.8	619.0	619.0	618.6	618.7	621.2	617.5	619.2	619.2	619.3	0.2
06	318.1	319.5	316.6	320.3	317.0	316.2	317.6	317.6	318.5	318.9	0.2
07	263.4	265.0	264.2	264.7	263.0	263.4	263.5	262.6	263.8	262.8	0.6
08	262.3	261.0	260.0	262.1	261.2	261.8	260.6	261.7	261.0	261.7	0.6
09	615.3	614.2	613.4	613.5	616.5	613.5	615.8	615.2	614.6	616.5	0.4
10	199.2	201.2	199.6	199.6	198.4	199.5	201.3	199.3	200.7	201.1	0.4
11	338.6	339.5	340.5	340.2	340.2	339.1	338.9	342.1	340.3	338.0	0.5
12	302.4	302.3	301.3	301.9	303.0	302.8	303.6	303.3	302.4	302.1	0.3
13	159.8	160.4	159.9	160.4	159.8	159.5	159.1	160.0	160.2	160.1	0.3
14	542.8	540.4	541.6	541.6	542.4	541.7	540.8	540.9	542.2	541.4	0.2
15	377.4	378.3	377.6	377.0	377.9	378.7	378.1	377.2	378.0	377.5	0.3
16	479.0	479.7	480.3	479.9	478.5	478.0	479.8	478.8	479.5	479.7	0.3
17	179.8	182.0	182.4	182.9	180.2	182.9	183.7	179.9	181.0	183.2	0.6
18	327.2	327.8	327.2	328.4	328.1	327.9	326.0	326.7	326.7	328.1	0.2
19	334.0	331.6	334.2	332.4	333.8	332.7	334.6	333.8	333.7	330.5	0.4
20	249.8	252.6	250.2	250.8	250.6	251.9	251.1	250.6	251.1	250.8	0.4
21	360.6	360.4	360.7	361.6	361.0	361.2	363.0	361.8	360.8	360.4	0.3
22	198.8	199.8	200.4	199.6	200.0	201.1	198.5	198.9	199.1	198.8	0.3
23	329.3	330.0	328.8	330.5	330.4	332.7	329.6	328.2	329.6	327.7	0.2
24	304.9	303.7	302.9	303.7	304.8	304.9	303.6	305.9	304.0	305.0	0.2
25	351.2	349.4	350.5	350.2	349.7	349.6	351.3	349.3	350.5	349.5	0.2
26	313.3	314.4	311.6	311.7	312.3	311.7	315.3	311.4	313.5	314.0	0.2
27	587.6	586.4	586.8	588.2	585.8	587.0	585.3	587.0	586.3	586.7	0.2
28	294.4	294.7	297.4	297.2	298.0	297.0	295.3	297.0	297.8	297.5	0.4
29	235.3	233.6	233.9	234.4	234.0	234.3	233.7	234.2	236.5	233.5	0.3
30	244.8	242.8	243.1	243.4	242.2	243.5	242.6	243.0	243.7	243.5	0.5
31	351.9	353.1	352.8	353.8	353.3	352.7	352.6	354.8	353.6	354.1	0.2
32	150.1	150.2	148.6	148.3	148.9	148.8	149.3	152.4	147.8	148.5	0.5
33	186.8	185.1	186.1	185.0	186.7	186.8	184.5	186.0	185.8	185.8	0.6
34	239.6	241.0	240.3	239.4	239.4	240.0	240.4	238.6	239.8	239.2	0.3
35	329.7	329.1	328.9	330.2	329.7	327.8	329.9	331.6	328.5	330.3	0.4
36	240.4	240.6	241.0	239.2	239.2	239.6	238.1	239.4	241.4	240.7	0.6
37	406.3	403.1	405.6	405.3	403.1	405.0	405.1	405.1	404.1	405.5	0.6
38	205.5	205.5	206.5	206.7	206.6	206.1	206.6	208.0	205.9	206.7	0.3
39	240.8	241.2	242.1	242.7	242.2	242.5	241.7	243.8	242.0	242.1	0.4

Таблица 4.1 (продолжение)

Ном. вар.	Результаты измерений, Ом										δ %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
40	220.4	220.2	217.7	220.0	221.9	219.6	221.1	220.4	218.8	219.5	0.4
41	379.8	379.8	381.5	379.8	379.4	380.0	382.2	379.7	381.2	379.3	0.4
42	603.8	602.7	604.2	601.8	602.9	602.9	602.9	603.3	603.4	601.9	0.2
43	232.9	231.4	230.8	232.6	230.2	232.0	231.7	230.5	232.0	231.0	0.4
44	182.3	182.9	182.5	183.2	183.8	182.6	181.5	183.7	182.5	183.1	0.2
45	158.9	161.7	159.7	159.1	160.8	161.1	159.8	160.5	161.4	159.9	0.4
46	326.7	327.8	324.6	324.7	325.7	327.9	324.2	326.7	329.6	328.7	0.2
47	299.8	298.8	299.6	298.5	299.0	298.3	299.0	300.9	300.8	300.8	0.2
48	219.1	218.6	218.0	219.4	218.7	218.3	219.2	218.7	218.6	219.5	0.4
49	239.7	240.0	240.5	240.2	239.7	240.0	238.2	239.6	240.8	240.0	0.2
50	231.8	232.9	231.1	232.1	230.6	229.9	228.7	233.2	231.2	232.4	0.5
51	195.7	195.8	195.4	193.7	194.2	197.0	194.3	194.7	196.5	194.6	0.3
52	151.3	152.4	152.9	152.9	152.5	152.9	153.5	152.4	152.8	153.1	0.4
53	241.7	240.1	240.6	239.8	238.8	238.5	237.9	240.6	239.8	239.4	0.5
54	250.7	249.5	249.9	250.5	249.0	249.6	249.0	248.1	249.8	249.9	0.2
55	172.6	176.3	175.8	176.9	173.5	175.3	175.1	176.5	176.4	175.2	0.6
56	197.3	197.9	197.3	198.7	197.8	197.4	197.2	197.4	196.5	197.9	0.6
57	390.8	388.6	391.0	390.3	391.5	390.5	388.7	391.2	389.6	390.5	0.2
58	150.0	149.7	149.7	150.4	148.5	149.9	149.1	148.3	150.6	151.4	0.3
59	177.4	177.5	175.8	174.3	176.5	179.0	178.5	176.5	178.2	174.9	0.5
60	171.5	174.5	171.5	172.6	173.2	173.5	174.5	174.5	173.2	173.6	0.4
61	155.0	154.1	156.8	154.0	155.1	154.7	154.6	154.6	154.5	153.5	0.5
62	238.1	234.7	236.0	235.5	236.4	236.8	237.4	235.2	236.5	236.1	0.5
63	302.3	299.7	299.8	301.0	300.5	299.7	301.1	300.3	299.9	299.4	0.2
64	535.1	534.5	536.0	536.5	537.6	535.5	537.1	538.5	535.8	537.6	0.3
65	163.5	162.8	163.4	161.1	163.7	162.2	163.7	163.4	162.9	161.2	0.3
66	178.3	179.2	178.6	179.0	179.9	179.8	179.5	180.2	178.8	179.2	0.2
67	227.8	227.4	225.6	229.7	229.1	228.5	229.5	228.3	230.2	228.3	0.3
68	149.5	149.3	150.5	149.0	150.2	151.6	148.6	150.7	151.3	149.1	0.5
69	448.5	447.8	452.1	450.9	451.9	452.2	450.7	450.7	451.3	450.8	0.6
70	279.2	278.3	281.5	281.1	278.9	280.0	280.0	280.4	280.2	277.7	0.2
71	359.6	361.2	360.3	358.3	359.7	360.4	360.2	359.9	360.3	360.6	0.2
72	219.6	221.2	220.2	219.8	218.7	220.2	220.5	221.6	219.0	220.5	0.4
73	202.8	202.8	201.9	201.1	202.4	202.4	203.9	203.0	201.0	203.3	0.6
74	302.4	301.2	301.8	302.1	302.5	301.5	302.8	302.0	302.4	302.1	0.2
75	159.1	159.1	161.1	160.9	159.9	160.6	159.2	161.3	159.5	159.1	0.2
76	328.8	330.1	330.2	330.5	330.3	328.2	331.1	328.0	329.6	330.0	0.5
77	175.0	176.0	175.7	174.7	176.0	176.3	175.0	175.5	174.8	175.9	0.3
78	180.5	179.2	181.2	179.5	180.8	179.9	181.2	179.9	178.3	181.7	0.3
79	430.9	432.3	431.6	431.7	430.8	431.2	426.8	430.9	430.8	429.5	0.2
80	618.7	619.1	619.2	618.6	619.2	622.2	619.4	621.3	619.1	621.1	0.2
81	480.1	481.7	482.8	481.8	480.6	481.3	481.0	479.4	481.8	480.5	0.2
82	246.0	244.5	246.6	245.8	244.2	243.9	244.7	244.2	244.6	243.1	0.4
83	152.2	152.6	150.3	151.7	152.6	151.4	151.2	152.9	151.3	152.7	0.4
84	357.4	355.4	356.3	357.0	355.6	357.0	357.8	358.4	357.3	356.2	0.2
85	159.8	162.9	160.2	159.2	160.3	160.9	160.6	160.7	161.4	161.7	0.4
86	240.6	241.0	239.1	240.8	239.1	240.6	239.5	240.6	240.2	239.9	0.3
87	389.9	391.5	388.7	390.0	389.4	389.9	391.2	388.9	390.4	390.5	0.2
88	153.1	151.8	152.6	152.3	154.0	152.4	152.5	154.4	152.8	153.5	0.6

Таблица 4.1 (продолжение)

Ном. вар.	Результаты измерений, Ом										δ %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
89	626.8	625.7	626.1	625.1	627.0	627.8	624.9	628.8	628.5	625.8	0.3
90	213.2	211.8	211.9	212.8	211.8	212.6	213.7	211.7	212.8	214.1	0.3
91	190.6	192.1	193.5	191.7	193.7	193.0	191.9	192.8	192.3	192.8	0.3
92	390.7	390.4	390.6	388.6	390.3	390.5	390.9	390.8	390.6	389.6	0.3
93	163.9	165.1	164.1	161.8	163.9	163.1	161.2	162.0	163.9	163.4	0.5
94	182.9	179.7	179.8	181.5	179.9	181.3	181.4	180.6	181.4	180.8	0.2
95	387.4	386.4	390.0	389.3	390.6	387.3	386.2	386.6	389.6	387.9	0.4
96	238.6	240.8	239.1	241.5	239.9	239.3	239.1	239.0	241.0	241.2	0.5
97	212.5	212.9	213.3	212.6	211.4	212.7	211.8	212.5	212.3	212.5	0.2
98	161.1	160.7	160.5	161.3	159.9	160.6	159.8	160.8	160.9	160.1	0.3
99	199.6	200.2	199.2	199.5	201.1	202.1	200.3	199.1	199.7	200.7	0.4
100	199.6	200.8	199.8	199.7	199.6	199.9	199.4	199.4	199.4	199.7	0.4

Задание 2. При поверке после ремонта вольтметра класса точности γ с конечным значением шкалы 5 Вольт в точках шкалы 1, 2, 3, 4 и 5 В при убывании и возрастании показаний получены показания образцового вольтметра, представленные в таблице 4.2. Определите, соответствует ли поверяемый вольтметр своему классу точности.

Таблица 4.2

Номер варианта	Показания образцового прибора										Класс точности γ
	при возрастании показаний, В					при убывании показаний, В					
	$U_1^{\uparrow}$	$U_2^{\uparrow}$	$U_3^{\uparrow}$	$U_4^{\uparrow}$	$U_5^{\uparrow}$	$U_1^{\downarrow}$	$U_2^{\downarrow}$	$U_3^{\downarrow}$	$U_4^{\downarrow}$	$U_5^{\downarrow}$	
01	0.99	2.04	3.00	3.94	4.97	0.97	2.02	2.98	3.93	4.95	1.5
02	1.05	2.00	3.00	3.94	4.98	1.03	1.98	2.97	3.93	4.97	1.5
03	0.88	2.13	2.93	3.82	5.05	0.78	2.11	2.91	3.78	5.00	4.0
04	1.10	1.99	3.09	4.00	5.10	1.07	1.95	3.05	3.95	5.07	2.0
05	1.00	2.02	2.99	3.99	5.03	0.98	2.00	2.98	3.97	5.02	1.0
06	1.00	2.04	3.06	3.98	5.02	0.99	2.03	3.04	3.96	5.01	1.5
07	1.05	1.97	2.97	4.02	5.09	1.01	1.95	2.94	3.98	5.06	2.0
08	0.96	1.98	3.04	4.09	5.07	0.94	1.96	3.00	4.05	5.04	2.0
09	1.04	1.99	3.06	4.07	5.02	1.03	1.97	3.05	4.04	4.99	1.5
10	0.97	2.06	2.96	3.98	4.96	0.96	2.04	2.95	3.97	4.93	2.0
11	0.85	2.02	3.09	3.97	4.80	0.78	1.93	3.07	3.96	4.79	4.0
12	0.98	2.00	3.04	4.04	5.00	0.96	1.98	3.03	4.03	4.98	1.0
13	1.03	1.99	3.01	4.00	5.02	1.02	1.98	3.00	3.99	5.00	1.0
14	1.04	2.01	3.05	4.09	4.99	1.00	1.99	3.01	4.07	4.94	2.0
15	0.99	2.04	3.00	4.10	4.98	0.98	2.02	2.96	4.09	4.95	2.0
16	1.05	1.94	3.01	3.98	5.06	1.01	1.88	2.99	3.97	5.03	2.5
17	0.97	2.09	2.96	3.99	4.85	0.94	2.01	2.87	3.92	4.84	4.0
18	1.06	2.00	2.97	4.02	5.03	1.03	1.98	2.96	3.98	5.01	2.0
19	1.10	2.13	3.04	4.05	5.02	1.04	2.07	3.02	4.00	4.97	2.5
20	1.17	1.93	3.13	4.18	5.18	1.13	1.86	3.04	4.10	5.08	4.0
21	0.95	2.02	2.99	4.07	5.09	0.92	1.99	2.97	4.05	5.08	2.0
22	0.98	1.95	3.06	4.10	5.09	0.97	1.93	3.03	4.09	5.08	2.0
23	1.00	2.04	3.01	4.04	5.03	0.98	2.02	2.99	4.02	5.01	1.0
24	1.06	2.02	3.07	3.97	4.98	1.04	2.01	3.04	3.94	4.96	1.5

Таблица 4.2 (продолжение)

Номер варианта	Показания образцового прибора										Класс точности γ
	при возрастании показаний, В					при убывании показаний, В					
	$U_1^{\uparrow}$	$U_2^{\uparrow}$	$U_3^{\uparrow}$	$U_4^{\uparrow}$	$U_5^{\uparrow}$	$U_1^{\downarrow}$	$U_2^{\downarrow}$	$U_3^{\downarrow}$	$U_4^{\downarrow}$	$U_5^{\downarrow}$	
25	1.04	1.95	3.04	3.99	5.03	1.01	1.94	3.01	3.97	5.02	1.5
26	1.01	2.07	2.99	4.02	4.97	1.00	2.06	2.97	3.99	4.95	1.5
27	1.03	1.98	3.04	3.98	5.00	1.00	1.96	3.03	3.97	4.98	1.5
28	1.07	2.06	2.97	4.00	5.06	1.05	2.03	2.96	3.98	5.05	1.5
29	0.92	2.04	3.00	4.05	4.96	0.89	1.98	2.98	4.02	4.90	2.5
30	0.97	1.96	3.03	4.07	5.05	0.95	1.93	2.98	4.03	5.00	2.0
31	1.03	2.06	2.98	3.94	5.05	1.02	2.04	2.94	3.92	5.04	2.0
32	1.04	2.00	3.03	3.99	5.04	1.02	1.98	3.02	3.98	5.03	1.0
33	1.01	1.99	2.92	3.95	4.94	0.96	1.97	2.91	3.93	4.90	2.5
34	1.21	2.19	2.87	4.20	5.14	1.11	2.16	2.82	4.19	5.12	4.0
35	1.06	2.06	3.04	3.96	4.99	1.05	2.04	3.01	3.93	4.97	1.5
36	1.03	2.06	2.94	4.05	5.03	1.00	2.05	2.91	4.03	4.99	2.0
37	0.99	1.98	3.00	3.98	5.02	0.98	1.96	2.98	3.96	5.01	1.0
38	1.06	2.03	2.98	3.96	4.96	1.03	2.01	2.97	3.93	4.95	1.5
39	0.99	1.86	2.95	4.07	4.93	0.93	1.85	2.89	4.05	4.90	4.0
40	1.07	1.98	2.97	4.07	5.03	1.05	1.96	2.95	4.04	5.02	1.5
41	0.99	2.04	3.04	4.04	5.02	0.98	2.02	3.02	4.03	5.00	1.0
42	1.00	2.04	2.95	4.01	5.08	0.99	2.02	2.91	3.98	5.04	2.0
43	0.92	1.95	3.12	3.92	5.10	0.89	1.94	3.08	3.89	5.06	2.5
44	1.05	2.01	2.93	3.99	4.97	1.02	1.98	2.90	3.96	4.95	2.0
45	0.87	2.10	3.03	3.82	5.07	0.83	2.05	2.93	3.81	5.06	4.0
46	1.09	2.10	2.96	4.01	5.07	1.06	2.09	2.92	4.00	5.06	2.0
47	1.07	2.05	2.97	4.03	4.96	1.04	2.03	2.95	4.00	4.93	1.5
48	1.05	1.97	3.07	4.01	5.05	1.02	1.95	3.05	3.99	5.02	1.5
49	1.16	2.00	3.06	4.02	4.95	1.12	1.98	3.04	3.92	4.94	4.0
50	1.04	1.99	2.98	4.09	5.01	1.01	1.96	2.93	4.04	4.96	2.0
51	1.06	2.07	2.94	4.06	4.93	1.03	2.03	2.91	4.02	4.92	2.0
52	0.94	2.08	3.07	4.06	4.94	0.91	2.06	3.05	4.05	4.93	2.0
53	1.09	2.06	2.92	3.97	5.00	1.08	2.03	2.90	3.95	4.98	2.0
54	1.02	1.97	3.03	4.01	4.96	1.01	1.94	3.01	3.99	4.94	1.5
55	0.95	2.02	2.98	3.94	4.99	0.94	1.99	2.97	3.93	4.96	1.5
56	1.07	2.07	3.07	4.07	5.07	1.06	2.06	3.06	4.06	5.06	1.5
57	0.99	2.02	3.04	4.02	4.98	0.97	2.00	3.03	4.01	4.97	1.0
58	1.03	2.05	3.04	4.09	4.94	1.01	2.04	3.02	4.07	4.91	2.0
59	1.10	1.98	3.06	3.99	4.98	1.04	1.95	3.04	3.95	4.97	2.5
60	1.00	2.20	3.02	3.99	5.01	0.98	2.17	2.96	3.98	4.94	4.0
61	1.22	1.88	3.17	3.97	5.00	1.17	1.82	3.08	3.95	4.91	4.0
62	0.98	1.99	2.96	4.06	5.07	0.96	1.96	2.94	4.04	5.06	1.5
63	1.01	1.94	3.10	4.02	5.06	0.97	1.91	3.06	3.97	5.04	2.0
64	0.98	1.97	3.01	3.98	5.03	0.97	1.96	3.00	3.97	5.01	1.0
65	0.97	2.18	2.95	4.17	4.99	0.91	2.13	2.90	4.15	4.92	4.0
66	1.04	2.00	3.00	4.00	5.04	1.02	1.98	2.98	3.98	5.03	1.0
67	1.11	2.12	2.96	3.92	4.84	1.05	2.04	2.90	3.89	4.82	4.0
68	0.94	2.02	3.05	4.04	4.96	0.93	2.00	3.03	4.03	4.95	1.5
69	1.19	1.94	3.09	3.91	4.99	1.13	1.85	3.04	3.89	4.96	4.0
70	1.04	2.01	3.12	3.91	4.96	1.03	2.00	3.09	3.87	4.92	2.5
71	1.00	2.02	3.01	4.04	5.01	0.99	2.00	2.99	4.03	5.00	1.0
72	1.11	2.11	3.08	3.99	5.03	1.10	2.10	3.03	3.98	5.02	2.5

Таблица 4.2 (продолжение)

Номер варианта	Показания образцового прибора										Класс точности
	при возрастании показаний, В					при убывании показаний, В					
	$U_1^{\uparrow}$	$U_2^{\uparrow}$	$U_3^{\uparrow}$	$U_4^{\uparrow}$	$U_5^{\uparrow}$	$U_1^{\downarrow}$	$U_2^{\downarrow}$	$U_3^{\downarrow}$	$U_4^{\downarrow}$	$U_5^{\downarrow}$	γ
73	1.08	2.01	3.02	4.00	5.00	1.06	1.98	2.97	3.96	4.95	2.0
74	0.97	2.03	3.04	3.96	5.05	0.96	2.01	3.03	3.94	5.03	1.5
75	0.96	2.03	3.03	4.08	5.06	0.93	2.00	3.00	4.06	5.04	2.0
76	0.99	1.99	3.01	4.05	5.01	0.97	1.97	2.99	4.04	4.99	1.5
77	0.93	1.94	2.91	3.93	4.91	0.87	1.91	2.89	3.90	4.90	2.5
78	1.12	2.04	3.01	3.87	4.87	1.09	1.98	2.91	3.85	4.84	4.0
79	0.97	1.95	3.06	3.94	5.00	0.96	1.93	3.05	3.93	4.98	1.5
80	1.07	2.06	3.03	4.07	4.95	1.06	2.04	3.02	4.04	4.93	1.5
81	0.92	1.90	3.02	4.02	5.18	0.82	1.82	2.97	3.93	5.16	4.0
82	1.13	2.00	2.83	4.13	4.96	1.05	1.98	2.79	4.09	4.87	4.0
83	1.00	2.00	3.02	3.98	5.02	0.98	1.99	3.00	3.97	5.01	1.0
84	1.02	1.97	2.95	4.06	5.00	1.00	1.95	2.93	4.05	4.99	1.5
85	1.00	1.99	3.01	3.98	5.04	0.98	1.98	2.99	3.97	5.02	1.0
86	1.05	2.02	3.00	3.96	4.93	1.02	1.97	2.96	3.93	4.91	2.5
87	1.00	2.00	3.02	3.97	5.01	0.98	1.98	3.01	3.96	4.99	1.0
88	0.98	1.94	2.93	3.97	5.10	0.93	1.90	2.91	3.95	5.09	2.5
89	1.10	2.05	3.04	4.07	5.07	1.09	2.02	3.00	4.05	5.04	2.0
90	1.02	2.05	3.01	4.07	5.08	1.00	2.04	2.98	4.05	5.06	2.0
91	0.98	2.06	3.04	3.99	5.04	0.96	2.04	3.01	3.98	5.01	1.5
92	0.94	2.02	3.01	3.96	5.06	0.93	2.00	2.98	3.93	5.04	1.5
93	1.01	2.07	2.98	4.00	5.07	0.98	2.05	2.95	3.99	5.05	1.5
94	1.13	2.02	3.01	4.08	4.93	1.12	1.97	2.99	4.03	4.92	2.5
95	1.01	1.99	3.03	3.99	5.03	0.99	1.98	3.02	3.98	5.01	1.0
96	1.01	2.01	2.97	4.01	4.97	1.00	1.99	2.96	4.00	4.96	1.0
97	0.92	2.09	3.02	4.00	5.08	0.88	2.06	2.97	3.99	5.02	2.5
98	0.99	1.96	2.99	3.98	4.95	0.98	1.93	2.97	3.96	4.94	1.5
99	0.92	1.85	3.02	4.12	5.01	0.86	1.82	2.98	4.11	4.99	4.0
100	0.97	1.96	3.06	4.07	5.05	0.96	1.92	3.03	4.05	5.03	2.0

Задание 3. Оцените погрешность прямого однократного измерения напряжения U на сопротивлении R , выполненного вольтметром класса точности γ с верхним пределом измерения U_N и внутренним сопротивлением R_V . Известно, что дополнительные погрешности показаний вольтметра из-за влияния магнитного поля и температуры не превышают соответственно δ_M и δ_T основной погрешности прибора. Исходные данные задачи приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Номер варианта	U , В	R , Ом	U_N , В	R_V , Ом	γ	δ_M , %	δ_T , %
01	4.17	4.3	5.0	1400	1.5	0.55	0.50
02	3.07	4.6	4.0	1100	0.5	0.70	0.50
03	2.96	4.7	3.0	1600	1.0	0.55	0.50
04	3.73	4.0	4.0	1200	1.5	0.55	0.40
05	3.18	3.2	4.0	1500	0.5	0.75	0.60
06	2.19	4.1	2.5	1000	1.0	0.65	0.60
07	2.08	3.9	2.5	1600	0.5	0.65	0.50

Таблица 4.3 (продолжение)

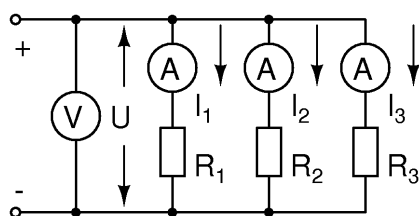
Номер варианта	U , В	R , Ом	U_N , В	R_V , Ом	γ	δ_M , %	δ_T , %
08	1.86	3.8	2.0	1400	1.5	0.80	0.35
09	3.51	3.0	4.0	1200	1.0	0.60	0.45
10	2.30	3.1	2.5	1400	1.0	0.60	0.55
11	1.97	4.5	2.0	1100	0.5	0.55	0.45
12	4.50	5.0	5.0	1200	1.0	0.65	0.50
13	4.61	4.7	5.0	1000	1.5	0.75	0.40
14	4.28	5.0	5.0	1000	1.0	0.65	0.50
15	1.42	3.9	1.5	1600	1.5	0.60	0.40
16	3.84	3.1	4.0	1500	1.0	0.60	0.60
17	2.96	3.5	3.0	1300	1.5	0.55	0.60
18	1.97	4.0	2.0	1200	1.5	0.70	0.55
19	3.40	3.4	4.0	1500	0.5	0.70	0.35
20	3.18	3.7	4.0	1100	1.0	0.80	0.50
21	1.53	4.7	2.0	1400	1.0	0.55	0.50
22	4.06	4.2	5.0	1600	0.5	0.60	0.40
23	2.63	4.9	3.0	1400	0.5	0.60	0.55
24	2.08	3.2	2.5	1200	1.0	0.80	0.60
25	3.62	3.2	4.0	1400	0.5	0.55	0.60
26	3.84	4.9	4.0	1100	1.5	0.75	0.35
27	2.85	3.3	3.0	1600	1.5	0.55	0.40
28	2.74	5.1	3.0	1500	0.5	0.70	0.40
29	1.20	5.2	1.5	1600	1.0	0.60	0.35
30	2.41	5.2	2.5	1200	0.5	0.80	0.55
31	1.75	4.9	2.0	1200	0.5	0.55	0.60
32	3.07	3.3	4.0	1600	1.0	0.60	0.35
33	1.86	5.0	2.0	1100	0.5	0.80	0.50
34	3.73	5.0	4.0	1600	1.5	0.70	0.55
35	2.41	4.8	2.5	1100	1.0	0.55	0.40
36	1.64	4.9	2.0	1500	1.5	0.65	0.35
37	4.17	3.3	5.0	1500	0.5	0.55	0.60
38	2.52	5.2	3.0	1500	1.0	0.60	0.35
39	3.95	4.9	4.0	1300	1.0	0.65	0.60
40	3.18	4.3	4.0	1500	0.5	0.75	0.40
41	2.19	4.9	2.5	1100	1.0	0.80	0.50
42	3.95	4.9	4.0	1600	1.0	0.70	0.60
43	1.42	3.3	1.5	1400	1.5	0.60	0.40
44	3.07	3.4	4.0	1000	1.5	0.80	0.35
45	3.62	3.3	4.0	1000	1.5	0.80	0.55
46	3.18	3.0	4.0	1300	0.5	0.80	0.60
47	2.30	3.3	2.5	1600	1.5	0.65	0.55
48	3.07	5.2	4.0	1500	1.5	0.55	0.60
49	2.96	5.1	3.0	1000	0.5	0.80	0.50
50	1.31	3.5	1.5	1000	1.0	0.65	0.40
51	4.28	4.5	5.0	1100	1.5	0.60	0.55
52	2.30	3.7	2.5	1000	1.0	0.55	0.50
53	4.72	3.8	5.0	1400	0.5	0.75	0.55
54	4.28	4.6	5.0	1500	1.5	0.65	0.55
55	1.42	4.9	1.5	1200	1.5	0.55	0.45
56	4.50	3.4	5.0	1500	1.5	0.65	0.35
57	3.40	5.1	4.0	1200	0.5	0.70	0.35

Таблица 4.3 (продолжение)

Номер варианта	U , В	R , Ом	U_N , В	R_V , Ом	γ	δ_M , %	δ_T , %
58	2.63	4.9	3.0	1500	1.5	0.60	0.45
59	2.63	4.5	3.0	1400	1.5	0.60	0.40
60	2.85	3.4	3.0	1500	0.5	0.75	0.35
61	3.84	3.1	4.0	1400	1.5	0.65	0.60
62	4.28	5.2	5.0	1100	1.5	0.70	0.45
63	1.42	3.8	1.5	1300	1.0	0.70	0.55
64	4.39	3.9	5.0	1600	1.0	0.60	0.40
65	4.50	4.0	5.0	1000	1.0	0.60	0.45
66	2.08	4.9	2.5	1600	1.5	0.80	0.55
67	4.72	4.7	5.0	1000	0.5	0.60	0.35
68	2.52	4.8	3.0	1600	1.5	0.80	0.55
69	1.64	3.3	2.0	1600	0.5	0.70	0.40
70	4.28	3.1	5.0	1200	0.5	0.55	0.60
71	1.42	4.1	1.5	1100	1.0	0.80	0.50
72	1.86	4.5	2.0	1400	0.5	0.70	0.35
73	1.75	3.2	2.0	1000	1.0	0.60	0.50
74	3.07	4.4	4.0	1100	0.5	0.55	0.35
75	3.51	4.3	4.0	1300	0.5	0.80	0.55
76	3.29	4.5	4.0	1100	1.0	0.70	0.55
77	4.61	4.9	5.0	1400	0.5	0.65	0.50
78	3.07	4.3	4.0	1000	1.5	0.60	0.40
79	3.18	3.4	4.0	1500	1.5	0.55	0.50
80	4.39	3.6	5.0	1000	0.5	0.60	0.60
81	3.18	5.1	4.0	1000	1.5	0.80	0.50
82	2.63	4.5	3.0	1600	1.5	0.75	0.45
83	1.42	4.0	1.5	1400	1.5	0.70	0.35
84	3.07	5.0	4.0	1500	1.5	0.80	0.55
85	4.50	3.8	5.0	1200	0.5	0.80	0.55
86	2.85	4.3	3.0	1500	1.0	0.65	0.40
87	4.28	3.5	5.0	1200	0.5	0.55	0.55
88	3.18	3.9	4.0	1400	0.5	0.75	0.40
89	1.53	5.0	2.0	1100	0.5	0.70	0.50
90	4.39	5.1	5.0	1000	0.5	0.60	0.50
91	4.61	4.1	5.0	1500	0.5	0.75	0.40
92	2.85	5.1	3.0	1200	1.5	0.75	0.50
93	4.06	4.5	5.0	1400	1.0	0.65	0.35
94	3.73	5.2	4.0	1000	1.0	0.80	0.45
95	2.19	4.3	2.5	1000	0.5	0.65	0.60
96	3.29	3.2	4.0	1500	0.5	0.65	0.55
97	3.62	3.1	4.0	1600	1.5	0.60	0.35
98	4.28	4.8	5.0	1100	0.5	0.60	0.50
99	2.52	4.5	3.0	1400	1.5	0.60	0.40
100	2.96	4.0	3.0	1300	1.0	0.75	0.35

Задание 4. К источнику питания подключены три нагрузки, обозначенные на схеме как R_1 , R_2 , R_3 . Токи, измеренные в цепи каждой нагрузки равны I_1 , I_2 , I_3 , а измеренное напряжение источника питания равно U .

Определите мощность каждой нагрузки и значение абсолютной погрешности



этой мощности. Оцените суммарную мощность, потребляемую от источника питания и её погрешность. Классы точности амперметров, включенных в цепях нагрузок, соответствуют K_1 , K_2 , K_3 , а предельные значения их шкал – I_{N1} , I_{N2} , I_{N3} . Класс точности вольтметра K_U , а предельное значение шкалы – U_N . Все данные приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4

Вариант	I_1 , А	I_2 , А	I_3 , А	U , В	K_1	K_2	K_3	K_U	I_{N1} , А	I_{N2} , А	I_{N3} , А	U_N , В
01	0.8	0.6	1.8	46	2.0	1.5	2.0	1.5	1.0	1.0	2.0	50
02	2.0	2.7	2.1	18	2.0	2.0	2.5	0.5	3.0	3.0	3.0	20
03	6.9	5.9	0.6	26	1.0	0.5	2.5	0.5	10.0	10.0	1.0	30
04	4.1	6.0	0.7	14	2.0	1.5	1.0	1.0	5.0	10.0	1.0	20
05	1.9	2.7	1.4	22	2.0	1.5	2.0	2.0	2.0	3.0	1.5	30
06	1.1	1.3	0.8	36	0.5	0.5	1.0	2.5	1.5	1.5	1.0	50
07	4.9	4.0	7.6	17	0.5	0.5	0.5	1.0	5.0	5.0	10.0	20
08	1.5	3.8	0.8	14	1.5	0.5	1.5	1.0	2.0	5.0	1.0	20
09	3.1	4.1	0.8	33	0.5	0.5	2.5	1.5	5.0	5.0	1.0	50
10	1.7	1.3	2.5	19	2.5	0.5	0.5	2.0	2.0	1.5	3.0	20
11	2.7	2.9	2.5	26	1.0	2.0	1.5	2.5	3.0	3.0	3.0	30
12	1.7	1.3	1.3	49	2.5	2.5	2.0	0.5	2.0	1.5	1.5	50
13	2.8	3.3	1.9	37	1.0	1.0	1.5	1.0	3.0	5.0	2.0	50
14	6.6	5.9	2.8	13	2.0	2.0	0.5	0.5	10.0	10.0	3.0	20
15	3.0	2.1	1.6	46	0.5	2.0	0.5	1.0	5.0	3.0	2.0	50
16	0.9	3.8	3.8	26	1.0	1.0	1.5	1.0	1.0	5.0	5.0	30
17	1.6	4.9	3.2	21	1.0	1.0	2.0	1.5	2.0	5.0	5.0	30
18	4.3	4.8	4.1	35	0.5	1.0	1.5	0.5	5.0	5.0	5.0	50
19	3.5	1.3	2.0	24	0.5	1.5	2.0	1.5	5.0	1.5	3.0	30
20	1.1	1.5	1.8	49	2.0	0.5	0.5	1.0	1.5	2.0	2.0	50
21	0.8	0.9	0.8	45	0.5	1.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	50
22	0.8	1.9	1.6	45	1.5	2.5	1.0	1.5	1.0	2.0	2.0	50
23	1.8	1.9	1.3	40	2.0	1.0	1.0	1.5	2.0	2.0	1.5	50
24	2.4	1.0	1.1	43	0.5	1.5	0.5	2.5	3.0	1.5	1.5	50
25	0.8	0.7	1.8	41	2.5	2.0	0.5	2.0	1.0	1.0	2.0	50
26	2.2	1.2	2.8	21	1.5	1.0	2.5	2.0	3.0	1.5	3.0	30
27	3.0	3.4	2.2	41	0.5	1.5	1.5	0.5	5.0	5.0	3.0	50
28	2.1	1.1	1.2	31	0.5	1.0	0.5	2.0	3.0	1.5	1.5	50
29	0.9	3.9	1.5	26	2.5	0.5	1.5	2.5	1.0	5.0	2.0	30
30	7.1	2.1	8.1	16	0.5	2.0	1.5	0.5	10.0	3.0	10.0	20
31	1.6	1.5	1.6	41	1.0	1.5	2.0	2.5	2.0	2.0	2.0	50
32	1.0	1.4	1.8	38	2.0	2.5	1.0	2.0	1.5	1.5	2.0	50
33	7.1	1.5	1.0	41	0.5	1.5	2.5	0.5	10.0	2.0	1.5	50
34	5.6	5.5	4.7	31	0.5	0.5	0.5	0.5	10.0	10.0	5.0	50
35	2.2	2.8	0.8	45	0.5	0.5	1.0	1.5	3.0	3.0	1.0	50
36	1.0	1.3	0.8	30	2.5	2.0	0.5	0.5	1.5	1.5	1.0	50

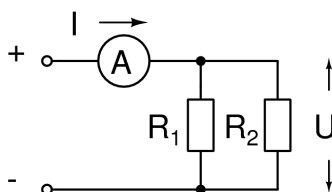
Таблица 4.4 (продолжение)

Вариант	I_1 , А	I_2 , А	I_3 , А	U , В	K_1	K_2	K_3	K_U	I_{N1} , А	I_{N2} , А	I_{N3} , А	U_N , В
37	0.9	1.7	0.8	50	2.0	0.5	1.0	1.5	1.0	2.0	1.0	100
38	3.4	1.4	3.7	16	2.5	2.5	1.0	2.5	5.0	1.5	5.0	20
39	0.8	1.0	2.0	35	0.5	0.5	0.5	2.5	1.0	1.5	3.0	50
40	2.9	0.9	0.8	21	1.5	1.0	2.0	2.5	3.0	1.0	1.0	30
41	4.3	1.2	6.4	15	1.0	1.5	0.5	2.5	5.0	1.5	10.0	20
42	2.9	2.8	1.7	36	2.0	1.5	0.5	1.0	3.0	3.0	2.0	50
43	1.0	1.4	0.8	29	1.5	2.0	2.5	2.5	1.5	1.5	1.0	30
44	3.5	2.2	4.4	39	1.5	2.5	0.5	0.5	5.0	3.0	5.0	50
45	0.6	1.1	1.1	50	2.5	0.5	0.5	2.5	1.0	1.5	1.5	100
46	3.2	4.9	1.5	47	1.0	0.5	0.5	1.0	5.0	5.0	2.0	50
47	1.3	0.9	2.3	45	2.5	0.5	2.0	1.0	1.5	1.0	3.0	50
48	2.6	2.9	0.7	21	1.0	2.5	2.5	0.5	3.0	3.0	1.0	30
49	0.6	8.1	2.2	15	1.5	1.5	1.0	0.5	1.0	10.0	3.0	20
50	2.1	2.2	3.7	25	0.5	1.0	1.0	2.0	3.0	3.0	5.0	30
51	5.7	1.9	1.6	25	0.5	2.5	1.0	1.5	10.0	2.0	2.0	30
52	0.9	2.5	2.7	44	2.5	1.5	2.0	1.0	1.0	3.0	3.0	50
53	1.4	1.9	2.5	50	2.5	0.5	0.5	0.5	1.5	2.0	3.0	100
54	1.9	1.0	1.1	47	2.0	0.5	1.0	2.0	2.0	1.5	1.5	50
55	4.0	4.8	3.9	18	2.5	2.0	0.5	1.0	5.0	5.0	5.0	20
56	1.7	1.2	0.7	35	0.5	0.5	2.0	2.5	2.0	1.5	1.0	50
57	1.6	6.0	4.4	20	2.5	1.5	1.0	0.5	2.0	10.0	5.0	30
58	0.8	0.9	2.1	23	0.5	1.0	0.5	2.0	1.0	1.0	3.0	30
59	3.6	2.3	2.5	18	0.5	2.5	2.0	2.5	5.0	3.0	3.0	20
60	1.3	1.1	6.9	40	1.0	2.5	0.5	0.5	1.5	1.5	10.0	50
61	3.6	2.3	1.0	21	0.5	2.0	1.0	1.0	5.0	3.0	1.5	30
62	4.1	0.7	2.8	44	1.0	1.5	1.5	0.5	5.0	1.0	3.0	50
63	2.5	1.7	1.4	33	0.5	0.5	0.5	2.5	3.0	2.0	1.5	50
64	2.5	2.8	1.5	38	2.5	0.5	1.5	0.5	3.0	3.0	2.0	50
65	1.5	2.4	1.6	26	1.0	2.5	2.5	1.5	2.0	3.0	2.0	30
66	1.5	2.3	1.0	49	2.0	2.0	2.0	0.5	2.0	3.0	1.5	50
67	2.4	2.0	1.9	18	2.5	2.5	2.0	2.0	3.0	3.0	2.0	20
68	2.7	3.1	0.7	37	1.0	1.0	1.0	0.5	3.0	5.0	1.0	50
69	3.3	6.3	2.8	16	1.0	2.0	0.5	0.5	5.0	10.0	3.0	20
70	3.4	1.7	2.1	28	1.0	2.0	2.0	0.5	5.0	2.0	3.0	30
71	3.4	3.9	4.9	20	1.0	1.5	0.5	2.0	5.0	5.0	5.0	30
72	1.1	1.4	1.3	39	2.0	0.5	0.5	2.5	1.5	1.5	1.5	50
73	4.5	2.2	2.8	16	1.0	2.5	2.5	2.0	5.0	3.0	3.0	20
74	0.8	1.2	1.6	34	2.0	2.0	2.5	1.5	1.0	1.5	2.0	50
75	1.1	3.0	6.0	19	1.0	2.0	0.5	2.5	1.5	5.0	10.0	20
76	3.8	7.1	6.5	16	1.5	1.5	1.5	1.0	5.0	10.0	10.0	20
77	1.6	1.3	7.6	17	1.5	1.5	0.5	1.5	2.0	1.5	10.0	20
78	1.5	1.6	1.4	36	2.5	2.0	2.5	1.5	2.0	2.0	1.5	50
79	2.2	2.2	2.7	30	2.5	1.5	2.5	1.0	3.0	3.0	3.0	50
80	2.6	0.8	1.8	45	2.0	2.0	1.0	0.5	3.0	1.0	2.0	50
81	3.1	7.9	3.6	27	2.0	0.5	1.5	0.5	5.0	10.0	5.0	30
82	0.8	2.2	1.3	47	1.0	1.5	2.0	1.5	1.0	3.0	1.5	50
83	1.7	1.9	2.3	42	2.0	2.5	0.5	1.5	2.0	2.0	3.0	50
84	2.8	3.9	1.8	28	0.5	0.5	2.0	2.5	3.0	5.0	2.0	30
85	1.7	2.5	2.8	33	2.0	0.5	1.0	1.0	2.0	3.0	3.0	50
86	1.9	4.0	2.5	42	1.0	0.5	1.5	1.0	2.0	5.0	3.0	50

Таблица 4.4 (продолжение)

Вариант	I_1, A	I_2, A	I_3, A	U, B	K_1	K_2	K_3	K_U	I_{N1}, A	I_{N2}, A	I_{N3}, A	U_N, B
87	1.2	4.4	4.9	12	1.5	1.0	1.5	2.5	1.5	5.0	5.0	20
88	3.8	1.0	3.4	25	2.0	1.0	1.0	1.0	5.0	1.5	5.0	30
89	1.6	0.6	1.5	49	1.0	0.5	1.5	1.0	2.0	1.0	2.0	50
90	2.4	4.6	3.6	17	1.5	1.5	1.5	1.0	3.0	5.0	5.0	20
91	1.3	2.8	4.1	18	2.0	1.0	0.5	0.5	1.5	3.0	5.0	20
92	7.8	1.3	1.5	28	1.0	1.0	0.5	0.5	10.0	1.5	2.0	30
93	1.2	1.0	0.7	50	1.5	1.5	0.5	2.0	1.5	1.5	1.0	100
94	0.6	4.3	5.4	27	1.5	1.0	0.5	1.0	1.0	5.0	10.0	30
95	0.8	1.4	2.2	32	0.5	2.0	2.0	1.5	1.0	1.5	3.0	50
96	1.5	1.8	4.5	29	0.5	1.0	1.0	1.5	2.0	2.0	5.0	30
97	4.2	1.4	4.6	21	1.5	1.0	1.0	1.5	5.0	1.5	5.0	30
98	1.2	2.8	0.8	25	0.5	2.5	1.0	1.5	1.5	3.0	1.0	30
99	2.5	2.5	2.3	32	0.5	1.5	1.5	0.5	3.0	3.0	3.0	50
100	4.0	1.8	3.7	16	1.0	2.0	2.5	2.5	5.0	2.0	5.0	20

Задание 5. Два параллельно соединённых резистора с сопротивлениями R_1 и R_2 подключены к источнику питания. Величина тока в цепи I измерена амперметром класса точности γ с пределом измерения I_N .



Определите падение напряжения на резисторах и оцените погрешность определения напряжения косвенным методом. Данные для расчёта приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5

Номер варианта	$R_1, \text{Ом}$	$\delta R_1, \%$	$R_2, \text{Ом}$	$\delta R_2, \%$	I, A	γ	I_N, A
01	24	10	16	2	4.6	2.5	5.0
02	11	10	22	5	2.8	2.0	3.0
03	11	10	30	1	2.5	1.5	3.0
04	20	10	16	5	1.6	2.5	2.0
05	22	5	27	2	2.8	1.5	3.0
06	24	1	13	1	2.7	1.5	3.0
07	13	1	16	5	2.9	2.5	3.0
08	30	2	11	5	2.0	2.5	3.0
09	24	5	22	2	3.7	0.5	5.0
10	20	10	20	2	0.8	2.5	1.0
11	10	10	24	1	2.5	1.0	3.0
12	10	2	24	1	3.9	1.5	5.0
13	12	5	18	10	1.4	1.5	1.5
14	15	1	12	5	0.7	2.0	1.0
15	20	5	12	5	3.7	2.0	5.0
16	30	10	22	5	0.8	2.0	1.0

Таблица 4.5 (продолжение)

Номер варианта	R_1 , Ом	δR_1 , %	R_2 , Ом	δR_2 , %	I , А	γ	I_N , А
17	27	2	24	1	3.7	1.5	5.0
18	16	10	20	10	3.3	1.5	5.0
19	27	5	30	5	2.1	2.5	3.0
20	11	10	24	10	0.4	2.5	1.0
21	24	1	18	1	1.3	1.0	1.5
22	11	5	20	5	1.2	0.5	1.5
23	13	5	10	10	3.5	2.0	5.0
24	13	10	12	2	3.6	1.0	5.0
25	18	5	12	2	3.0	1.5	5.0
26	24	1	30	2	1.6	0.5	2.0
27	12	1	15	1	1.6	2.0	2.0
28	20	1	27	2	4.7	1.0	5.0
29	11	5	15	2	3.5	1.0	5.0
30	27	1	13	1	1.0	1.0	1.5
31	24	2	12	2	3.6	0.5	5.0
32	18	2	11	10	3.3	2.0	5.0
33	13	5	15	10	2.8	1.5	3.0
34	30	1	18	2	4.7	2.0	5.0
35	22	2	11	1	0.6	2.5	1.0
36	18	1	13	10	4.1	1.5	5.0
37	10	1	13	2	1.2	2.5	1.5
38	16	2	24	10	0.9	1.5	1.0
39	13	2	10	1	4.8	1.0	5.0
40	12	5	16	10	2.1	1.0	3.0
41	12	5	15	5	2.5	1.0	3.0
42	12	5	22	5	1.8	1.0	2.0
43	15	2	27	2	1.5	1.0	2.0
44	10	2	11	2	4.6	1.5	5.0
45	11	1	30	10	4.5	2.5	5.0
46	13	10	15	2	4.5	2.0	5.0
47	22	10	16	5	4.6	1.5	5.0
48	18	5	13	10	2.3	1.5	3.0
49	11	1	24	5	4.3	1.0	5.0
50	11	1	30	5	2.0	2.5	3.0
51	15	10	12	10	0.8	2.0	1.0
52	27	10	10	2	3.9	1.5	5.0
53	16	5	16	10	1.3	1.5	1.5
54	20	1	11	10	3.6	1.0	5.0
55	11	5	24	2	1.7	1.5	2.0
56	10	10	22	1	1.3	2.5	1.5
57	27	5	27	5	4.7	1.5	5.0
58	24	5	16	10	1.5	1.5	2.0
59	20	1	30	10	4.7	0.5	5.0
60	27	2	10	1	4.4	1.0	5.0
61	11	2	12	1	3.8	2.5	5.0
62	12	5	10	2	4.8	0.5	5.0
63	12	10	20	1	0.7	1.0	1.0
64	27	10	12	5	3.5	2.5	5.0
65	18	5	20	1	2.4	1.0	3.0
66	11	2	22	5	0.7	2.5	1.0

Таблица 4.5 (продолжение)

Номер варианта	R_1 , Ом	δR_1 , %	R_2 , Ом	δR_2 , %	I , А	γ	I_N , А
67	18	1	13	2	2.2	2.0	3.0
68	30	5	12	5	1.2	2.0	1.5
69	11	10	10	1	2.3	0.5	3.0
70	18	1	16	1	4.1	2.5	5.0
71	22	1	18	2	1.2	0.5	1.5
72	16	10	30	2	1.7	2.0	2.0
73	20	2	30	2	1.8	0.5	2.0
74	18	1	27	2	4.3	2.5	5.0
75	18	1	16	5	4.2	2.5	5.0
76	16	1	18	2	4.1	2.5	5.0
77	27	1	10	2	0.8	1.0	1.0
78	11	10	16	5	3.9	2.0	5.0
79	27	5	16	5	4.1	2.5	5.0
80	24	10	22	2	1.1	2.5	1.5
81	30	10	15	1	1.9	0.5	2.0
82	24	10	20	2	0.7	1.0	1.0
83	11	2	18	1	0.8	2.0	1.0
84	15	2	12	5	2.2	2.0	3.0
85	22	1	24	10	3.0	0.5	5.0
86	10	5	12	10	2.5	1.5	3.0
87	24	10	13	1	1.9	0.5	2.0
88	24	5	11	5	3.4	1.5	5.0
89	12	2	16	10	4.7	0.5	5.0
90	20	10	15	10	3.9	0.5	5.0
91	11	2	20	1	1.6	1.5	2.0
92	15	10	30	10	1.7	2.0	2.0
93	15	2	11	5	2.8	2.5	3.0
94	24	1	18	10	4.6	0.5	5.0
95	11	1	15	1	4.6	0.5	5.0
96	20	5	24	1	4.7	2.5	5.0
97	13	10	16	5	1.6	0.5	2.0
98	12	1	22	10	0.5	1.0	1.0
99	11	5	15	2	1.0	2.5	1.5
100	16	1	15	2	3.6	1.0	5.0

Задание 6. Проводится эксперимент по измерению параметров транзисторов α и β . Для этого измеряются ток эмиттера $I_э$ и ток коллектора $I_к$, а затем определяются параметры α и β по формулам $\alpha = \frac{I_к}{I_э}$, $\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$.

Представьте результаты измерения указанных параметров вместе с погрешностями их определения. Величины токов $I_э$, $I_к$, классы точности $K_{I_э}$, $K_{I_к}$ и пределы измерений используемых средств $I_{N_э}$, $I_{N_к}$ приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6

Номер варианта	Величины токов		Классы точности		Пределы измерений	
	$I_э$, мкА	$I_к$, мкА	$K_{I_э}$	$K_{I_к}$	$I_{N_э}$, мкА	$I_{N_к}$, мкА
01	170	167	0.10 / 0.05	0.10 / 0.02	200	300
02	240	235	0.20 / 0.03	0.20 / 0.03	600	600

Таблица 4.6 (продолжение)

Номер варианта	Величины токов		Классы точности		Пределы измерений	
	I_3 , мкА	I_K , мкА	K_{I_3}	K_{I_K}	I_{N_3} , мкА	I_{N_K} , мкА
03	320	312	0.15 / 0.02	0.25 / 0.03	800	900
04	240	234	0.20 / 0.04	0.25 / 0.03	500	600
05	290	283	0.25 / 0.01	0.25 / 0.03	1700	800
06	330	326	0.25 / 0.03	0.10 / 0.04	900	500
07	270	264	0.15 / 0.01	0.25 / 0.04	1100	600
08	160	156	0.20 / 0.01	0.15 / 0.05	800	300
09	330	322	0.10 / 0.04	0.15 / 0.04	500	600
10	160	157	0.20 / 0.01	0.20 / 0.05	800	300
11	280	274	0.15 / 0.01	0.15 / 0.02	1100	700
12	340	334	0.15 / 0.02	0.25 / 0.02	900	1200
13	290	285	0.20 / 0.05	0.20 / 0.05	500	500
14	320	314	0.10 / 0.05	0.10 / 0.01	400	1000
15	340	336	0.10 / 0.01	0.25 / 0.03	1000	900
16	230	228	0.20 / 0.03	0.10 / 0.03	500	400
17	330	327	0.10 / 0.03	0.10 / 0.05	600	500
18	160	158	0.25 / 0.04	0.25 / 0.05	400	300
19	210	207	0.25 / 0.03	0.10 / 0.01	600	600
20	260	258	0.15 / 0.01	0.25 / 0.05	1000	500
21	220	216	0.15 / 0.03	0.25 / 0.05	400	400
22	280	275	0.20 / 0.05	0.25 / 0.04	500	600
23	190	188	0.25 / 0.05	0.25 / 0.02	400	700
24	320	316	0.15 / 0.01	0.10 / 0.01	1300	1000
25	290	285	0.25 / 0.05	0.25 / 0.02	600	1000
26	330	323	0.15 / 0.05	0.15 / 0.04	500	600
27	240	237	0.20 / 0.01	0.25 / 0.05	1200	500
28	140	137	0.10 / 0.02	0.10 / 0.03	300	200
29	260	257	0.25 / 0.02	0.20 / 0.03	900	600
30	270	268	0.20 / 0.03	0.15 / 0.01	600	1100
31	260	257	0.15 / 0.01	0.10 / 0.03	1000	400
32	340	333	0.15 / 0.05	0.25 / 0.04	500	800
33	140	139	0.10 / 0.05	0.10 / 0.03	200	200
34	340	332	0.20 / 0.03	0.20 / 0.04	800	700
35	280	277	0.25 / 0.04	0.10 / 0.02	600	600
36	320	317	0.10 / 0.04	0.25 / 0.04	500	700
37	150	148	0.10 / 0.01	0.10 / 0.04	500	200
38	190	188	0.20 / 0.01	0.20 / 0.04	1000	400
39	170	168	0.25 / 0.01	0.25 / 0.05	1000	300
40	310	308	0.20 / 0.03	0.15 / 0.03	700	600
41	340	336	0.25 / 0.05	0.15 / 0.01	700	1400
42	320	313	0.20 / 0.01	0.10 / 0.02	1600	600
43	170	168	0.20 / 0.01	0.15 / 0.03	900	300
44	320	315	0.15 / 0.01	0.20 / 0.01	1300	1600
45	190	187	0.15 / 0.02	0.20 / 0.05	500	300
46	300	294	0.15 / 0.05	0.20 / 0.04	500	600
47	260	255	0.10 / 0.05	0.15 / 0.04	400	500
48	280	276	0.20 / 0.04	0.15 / 0.05	600	400
49	270	267	0.15 / 0.03	0.25 / 0.02	500	900
50	210	207	0.10 / 0.05	0.15 / 0.01	300	800
51	220	215	0.20 / 0.01	0.15 / 0.05	1100	400

Таблица 4.6 (продолжение)

Номер варианта	Величины токов		Классы точности		Пределы измерений	
	I_3 , мкА	I_K , мкА	K_{I_3}	K_{I_K}	I_{N_3} , мкА	I_{N_K} , мкА
52	170	169	0.20 / 0.03	0.15 / 0.04	400	300
53	140	137	0.10 / 0.05	0.20 / 0.01	200	700
54	230	228	0.25 / 0.01	0.10 / 0.02	1400	500
55	260	257	0.15 / 0.01	0.15 / 0.02	1000	700
56	330	325	0.10 / 0.01	0.20 / 0.01	1000	1700
57	210	208	0.20 / 0.01	0.10 / 0.02	1100	400
58	210	208	0.10 / 0.03	0.15 / 0.03	400	400
59	320	316	0.25 / 0.01	0.15 / 0.05	1900	500
60	310	304	0.25 / 0.03	0.15 / 0.01	800	1200
61	220	218	0.20 / 0.05	0.25 / 0.05	400	400
62	340	333	0.20 / 0.01	0.20 / 0.04	1700	700
63	310	306	0.20 / 0.01	0.15 / 0.03	1600	600
64	240	237	0.20 / 0.01	0.25 / 0.01	1200	1400
65	240	235	0.20 / 0.05	0.20 / 0.02	400	700
66	140	138	0.10 / 0.03	0.10 / 0.05	200	200
67	250	244	0.10 / 0.05	0.25 / 0.01	400	1500
68	230	228	0.20 / 0.05	0.10 / 0.03	400	400
69	180	176	0.10 / 0.02	0.20 / 0.04	400	400
70	160	156	0.25 / 0.01	0.25 / 0.02	1000	600
71	150	148	0.15 / 0.04	0.25 / 0.04	300	300
72	220	218	0.10 / 0.02	0.25 / 0.03	400	600
73	300	297	0.25 / 0.02	0.15 / 0.04	1100	500
74	270	264	0.25 / 0.01	0.25 / 0.02	1600	900
75	240	234	0.20 / 0.03	0.25 / 0.05	600	500
76	290	287	0.25 / 0.04	0.25 / 0.05	700	600
77	290	287	0.15 / 0.01	0.20 / 0.03	1200	700
78	310	308	0.25 / 0.03	0.15 / 0.01	800	1200
79	330	323	0.10 / 0.04	0.20 / 0.05	500	600
80	150	147	0.20 / 0.03	0.10 / 0.05	400	200
81	150	147	0.15 / 0.05	0.15 / 0.03	200	300
82	220	218	0.25 / 0.05	0.25 / 0.01	400	1300
83	170	166	0.15 / 0.03	0.10 / 0.02	300	300
84	310	307	0.15 / 0.03	0.25 / 0.02	600	1100
85	290	286	0.15 / 0.01	0.25 / 0.02	1200	1000
86	300	295	0.20 / 0.03	0.25 / 0.04	700	700
87	300	295	0.10 / 0.04	0.20 / 0.01	500	1500
88	150	147	0.15 / 0.01	0.15 / 0.03	600	300
89	260	256	0.10 / 0.04	0.10 / 0.02	400	500
90	170	168	0.15 / 0.01	0.10 / 0.05	700	200
91	220	217	0.20 / 0.01	0.20 / 0.02	1100	700
92	270	267	0.20 / 0.04	0.15 / 0.04	500	500
93	230	224	0.15 / 0.05	0.25 / 0.04	400	500
94	230	224	0.15 / 0.01	0.15 / 0.03	900	500
95	340	335	0.25 / 0.03	0.10 / 0.02	900	700
96	150	148	0.15 / 0.01	0.10 / 0.03	600	300
97	330	323	0.10 / 0.01	0.20 / 0.04	1000	700
98	200	196	0.15 / 0.02	0.25 / 0.04	500	500
99	340	336	0.15 / 0.02	0.10 / 0.03	900	600
100	160	157	0.20 / 0.02	0.15 / 0.05	500	300

Задание 7. В информационно-измерительной системе для градуировки канала измерения нагрузки механического пресса, включающего тензометрический датчик и плату тензостанции на основе 16-разрядного аналого-цифрового преобразователя, устанавливались усилия x , контролируемые эталонным динамометром, и фиксировались числовые значения y на выходе аналого-цифрового преобразователя. Диапазон градуировки 0...50 кН. Данные измерений y сведены в таблицу 4.7. Найдите линейную функцию преобразования и постройте градуировочную характеристику канала. Определите наибольшую относительную погрешность и приведённую погрешность канала измерения.

Таблица 4.7

y	Величина силы x , кН					
Номер варианта	0	10	20	30	40	50
01	−9	1030	2057	3078	4165	5193
02	73	705	1373	1986	2637	3277
03	70	609	1147	1673	2180	2696
04	121	1172	2204	3278	4320	5305
05	122	1118	2159	3102	4170	5170
06	45	471	900	1321	1764	2184
07	75	1212	2327	3417	4639	5723
08	19	1583	3013	4637	6142	7779
09	107	565	1030	1493	1931	2392
10	26	1072	2125	3151	4263	5229
11	−39	1216	2478	3735	5001	6279
12	31	1307	2622	3837	5167	6357
13	−28	1550	3081	4670	6231	7818
14	−35	750	1547	2356	3110	3929
15	130	1557	2955	4412	5757	7158
16	−41	480	1021	1517	2079	2577
17	19	1471	2943	4434	5783	7341
18	−11	1375	2719	4129	5513	6948
19	70	1628	3204	4699	6241	7849
20	33	738	1427	2136	2856	3573
21	146	1531	2913	4301	5642	7128
22	5	1399	2779	4208	5548	7001
23	−33	1503	3019	4555	6143	7803
24	16	1415	2823	4233	5578	6942
25	78	948	1890	2697	3647	4511
26	42	828	1602	2389	3220	4039
27	−56	1318	2655	4090	5389	6774
28	−26	472	973	1478	1971	2510
29	7	796	1572	2339	3148	3900
30	76	1459	2922	4284	5747	7083
31	1	681	1351	2016	2721	3394
32	143	666	1222	1753	2327	2825
33	68	1138	2242	3246	4316	5419
34	12	725	1411	2112	2843	3541
35	119	742	1377	2025	2674	3311
36	119	1581	2984	4516	5902	7508
37	−50	1051	2167	3318	4397	5524

Таблица 4.7 (продолжение)

y	Величина силы x , кН					
Номер варианта	0	10	20	30	40	50
38	−24	988	2015	3034	4023	5113
39	−43	1075	2206	3294	4429	5446
40	−41	610	1280	1910	2583	3221
41	119	720	1305	1903	2509	3161
42	−15	1511	2999	4522	6038	7548
43	57	1421	2794	4201	5491	6893
44	−11	1171	2409	3543	4779	6073
45	49	584	1131	1692	2192	2735
46	134	815	1502	2170	2805	3518
47	88	729	1397	2009	2670	3299
48	49	861	1672	2509	3292	4036
49	127	1187	2262	3283	4389	5441
50	−38	975	2009	3014	4078	5100
51	−20	842	1680	2556	3400	4302
52	−26	1375	2761	4116	5564	6907
53	76	1125	2188	3235	4335	5444
54	99	698	1290	1858	2476	3099
55	−39	1353	2742	4119	5570	6998
56	45	569	1087	1607	2126	2604
57	139	772	1397	2000	2654	3304
58	102	1075	2101	3025	3984	5042
59	9	877	1726	2574	3472	4298
60	−31	1292	2597	3947	5276	6583
61	93	760	1466	2121	2759	3453
62	89	1039	2033	2958	3964	4898
63	−3	1438	2792	4332	5709	7207
64	157	1616	3093	4511	6023	7539
65	−10	702	1406	2129	2848	3523
66	−27	1219	2502	3782	4978	6226
67	71	1416	2771	4051	5367	6788
68	−38	1414	2854	4370	5798	7290
69	16	1355	2664	4094	5381	6713
70	102	602	1102	1589	2090	2588
71	127	1365	2692	3882	5094	6432
72	−12	798	1606	2406	3190	4015
73	62	1147	2220	3343	4532	5579
74	44	1457	2764	4209	5498	6938
75	−44	1474	3011	4449	6035	7488
76	−20	815	1707	2546	3416	4328
77	−4	981	1896	2951	3883	4830
78	90	1628	3219	4753	6303	7839
79	84	831	1608	2366	3114	3870
80	53	1165	2250	3361	4489	5514
81	9	1087	2191	3317	4395	5496
82	−7	747	1478	2254	3034	3776
83	7	419	834	1249	1644	2067
84	127	814	1492	2134	2825	3508
85	53	926	1822	2616	3511	4346
86	−37	1013	2076	3165	4215	5238

Таблица 4.7 (продолжение)

y	Величина силы x , кН					
Номер варианта	0	10	20	30	40	50
87	50	1187	2323	3487	4697	5846
88	90	1236	2446	3566	4750	5854
89	6	929	1861	2811	3709	4676
90	143	776	1405	2031	2658	3253
91	30	400	755	1135	1486	1872
92	58	681	1315	1971	2642	3236
93	38	1498	2998	4463	5949	7358
94	50	552	1044	1546	2056	2543
95	130	1503	2834	4202	5666	7001
96	−64	1356	2771	4141	5548	6985
97	−26	384	806	1198	1613	2032
98	2	1291	2586	3818	5109	6296
99	−38	1521	3025	4649	6058	7670
100	−46	744	1546	2350	3138	3928

Список рекомендуемой литературы

1. Волковой, М. С. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. пособие / М. С. Волковой, Е. Е. Суханов, Ю. Н. Хижняков, А. А. Южаков. — Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. — 344 с.
2. МИ 1317-2004. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления.
3. Р 50.2.038-2004. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений.
4. ГОСТ 8.207-76. Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений.