Р 50.1.025—2000

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ

Энергосбережение

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ И ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Издание официальное

ГОССТАНДАРТ РОССИИ
Москва

Предисловие

1 РАЗРАБОТАНЫ Всероссийским научно-исследовательским институтом стандартизации и сертификации в машиностроении (ВНИИНМАШ) Госстандарта России

ВНЕСЕНЫ Госстандартом России

2 ПРИНЯТЫ И ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Госстандарта России от 28 декабря 2000 г. № 427-ст

3 ВВЕДЕНЫ ВПЕРВЫЕ

Содержание

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ

Энергосбережение

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ И ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Energy conservation. Methods for estimation of accuracy and reproducibility of test results of energy efficiency indicators of products

Дата введения 2001—07—01

1 Область применения

Настоящие рекомендации устанавливают методы оценки точности и воспроизводимости результатов измерений при испытаниях по оценке показателей энергетической эффективности энергопотребляющей продукции (изделий).

Рекомендации распространяются на технические объекты (машины, оборудование, приборы), к которым в нормативно-технической и конструкторской документации предъявляются требования по оценке показателей энергетической эффективности.

2 Нормативные ссылки

В настоящих рекомендациях использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 8.207—76 Государственная система единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения

ГОСТ 16504—81 Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения

ГОСТ Р 51387—99 Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения

ГОСТ Р 51541—99 Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения

РМГ 29—99 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения

3 Определения

Термины, применяемые в настоящих рекомендациях, и их определения — по РМГ 29, ГОСТ 16504, ГОСТ Р 51387 и ГОСТ Р 51541.

3.1 **абсолютная погрешность**: Погрешность измерения, выраженная в единицах измеренной величины.

3.2 **относительная погрешность**: Отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеренной величины.

3.3 **воспроизводимость результатов испытаний**: Характеристика результатов испытаний, определяемая близостью результатов повторных испытаний объекта.

3.4 **грубая погрешность**: Погрешность измерения, существенно превышающая ожидаемую при данных условиях погрешность.

3.5 **группа результатов наблюдений**: Совокупность результатов наблюдений, полученная при условиях, которые в соответствии с целью измерения необходимы для получения результата измерения с заданной точностью.

3.6 **измерение**: Нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Издание официальное

3.7 **исправленный результат измерения**: Результат измерения, получаемый после внесения поправок в неисправленный результат измерения.

3.8 **испытания**: Экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата воздействия на него при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий.

3.9 **косвенное измерение**: Измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

3.10 **наблюдение при измерении**: Экспериментальная операция, выполняемая в процессе измерений, в результате которой получают одно значение из группы подлежащих совместной обработке для получения результата измерений.

3.11 **независимые результаты измерений**: Результаты измерений, не содержащие статистических погрешностей.

3.12 **неисключенная систематическая погрешность результата измерения**: Систематическая погрешность, которая остается неустраненной из результата измерения.

3.13 **неравноточные измерения**: Измерения, при которых искомое значение величины находят в результате измерений, выполненных в различных условиях (в различных местах, в различное время, разными методами и средствами).

3.14 **прямое измерение**: Измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных.

3.15 **результат измерения**: Значение величины, найденной путем ее измерения.

3.16 **систематическая погрешность**: Составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины.

3.17 **случайная погрешность**: Составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины.

3.18 **точность измерения**: Качество измерения, отражающее близость его результата к истинному значению измеряемой величины. Количественно точность может быть выражена обратной величиной модуля относительной погрешности.

4 Общие положения

4.1 При оценке точности измерений при испытаниях следует вычислить:

- результат измерения;
- доверительные границы погрешности результата измерения;
- относительную погрешность результата измерения;
- точность результата измерения.

4.2 Проверку гипотезы, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению, выполняют согласно разделу 3 ГОСТ 8.207.

4.3 Доверительную вероятность для определения доверительных границ погрешности результата измерения выбирают согласно разделу 1 ГОСТ 8.207.

5 Оценка точности прямого измерения с многократными независимыми наблюдениями

5.1 Способы обнаружения и исключения из результатов наблюдения известных систематических погрешностей должны быть указаны в методике выполнения измерений.

5.2 При статистической обработке выборки результатов наблюдений $A_1, A_2, A_3, \ldots, A_n$ предварительно исключают грубые погрешности.

5.3 При известном среднем квадратическом отклонении σ, если результаты наблюдений подчиняются нормальному закону распределения, вычисляют отношение по формуле

$$t_г = \frac{|A_i - \tilde{A}^*|}{\sigma\sqrt{(n-1)/n}}, \qquad (1)$$

где A_i — результат i-го наблюдения, проверяемый на грубую погрешность;

$\tilde{A}^* = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} A_i$ — выборочное среднее значение результатов наблюдений;

n — число результатов наблюдений.

5.4 Результат $t_г$ сравнивают с величиной $t(t_p)$, которую находят в зависимости от выбранной вероятности появления погрешности P по таблице Б.1 приложения Б.

Если $t_г \geq t(t_p)$, то проверяемый результат наблюдения должен быть исключен.

Примечание — Выбор вероятности появления погрешности зависит от конкретных условий решаемой задачи: если принимают очень низкий уровень вероятности, то грубые погрешности в результате могут остаться; если взять уровень вероятности неоправданно большой, то можно неоправданно исключить результаты, необходимые для правильной обработки в качестве грубых погрешностей.

Обычно применяют один из трех уровней вероятности:

5 %-ный уровень — исключаются погрешности, вероятность появления которых меньше $P = 0{,}95$, уровень значимости $q = 0{,}05$ ($q = 5$ %);

1 %-ный уровень — исключаются погрешности, вероятность появления которых меньше $P = 0{,}99$, уровень значимости $q = 0{,}01$ ($q = 1$ %);

0,1 %-ный уровень — исключаются погрешности, вероятность появления которых меньше $P = 0{,}999$, уровень значимости $q = 0{,}001$ ($q = 0{,}1$ %).

5.5 При неизвестном среднем квадратическом отклонении σ, если результаты наблюдений подчиняются нормальному закону распределения, вычисляют отношение по формуле

$$t_i = \frac{|A_i - \tilde{A}^*|}{S^*}, \tag{2}$$

где $S^* = \sqrt{\dfrac{\sum\limits_{1}^{n} (A_i - \tilde{A}^*)^2}{n-1}}$ — выборочная оценка среднего квадратического отклонения.

5.6 Результат t_i сравнивают с величиной $t_г$, которую находят в зависимости от числа результатов наблюдений n и уровня значимости q по таблице Б.2 приложения Б.

Если $t_i \geq t_г$, то проверяемый результат наблюдения может быть исключен.

5.7 За результат $\tilde{A}$ прямого измерения принимают среднее арифметическое результатов наблюдений, из которых исключены грубые погрешности.

5.8 Оценку среднего квадратического отклонения $S(A)$ результата измерения определяют согласно разделу 2 ГОСТ 8.207.

5.9 Доверительные границы ε (без учета знака) случайной погрешности результата прямого измерения определяют согласно разделу 3 ГОСТ 8.207.

5.10 Доверительные границы неисключенной систематической погрешности Θ результата измерения и границы погрешности Δ (без учета знака) результата прямого измерения определяют согласно разделу 4 ГОСТ 8.207.

5.11 Результат измерения записывают в виде

$$A = \tilde{A} \pm \Delta,\ P, \tag{3}$$

где P — установленная вероятность, с которой погрешность измерения находится в указанных границах.

5.12 Относительную погрешность результата прямого измерения с многократными независимыми δ в процентах наблюдениями определяют по формуле

$$\delta = \frac{\pm\Delta}{\tilde{A}} \cdot 100. \tag{4}$$

6 Оценка точности прямых неравноточных измерений

6.1 Методика прямых неравноточных измерений должна обеспечивать условия, при которых результаты повторных измерений искомой величины были бы между собой независимыми.

6.2 Результаты $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \tilde{A}_3, \ldots, \tilde{A}_n$ прямых неравноточных измерений, рассматриваемые как средние значения для групп $i_1, i_2, i_3, \ldots, i_n$ равноточных наблюдений и оценки средних квадратических отклонений $S(\tilde{A}_1), S(\tilde{A}_2), S(\tilde{A}_3), \ldots, S(\tilde{A}_n)$, определяют согласно разделу 5.

6.3 Весовые значения $P(\tilde{A}_i)$ соответствующих групп наблюдений определяют по формулам:

$$P(\tilde{A}_1) = \frac{m_1}{S^2(\tilde{A}_1)}, \quad P(\tilde{A}_2) = \frac{m_2}{S^2(\tilde{A}_2)},$$
$$P(\tilde{A}_3) = \frac{m_3}{S^2(\tilde{A}_3)}, \ldots, P(\tilde{A}_i) = \frac{m_n}{S^2(\tilde{A}_n)}, \tag{5}$$

где m — коэффициент пропорциональности, любое не равное нулю число, одинаковое для всех групп наблюдений;

n — число групп наблюдений.

6.4 Выбирают приближенное значение $\tilde{A}_0$ искомой величины и вычисляют разности для каждой группы наблюдений по формулам:

$$\begin{aligned} \tilde{A}_1 - \tilde{A}_0 &= \gamma_1, \\ \tilde{A}_2 - \tilde{A}_0 &= \gamma_2, \\ \tilde{A}_3 - \tilde{A}_0 &= \gamma_3, \\ &\ldots\ldots\ldots \\ \tilde{A}_n - \tilde{A}_0 &= \gamma_n. \end{aligned} \tag{6}$$

Примечание — Значение $\tilde{A}_0$ выбирают так, чтобы все разности $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \ldots, \gamma_n$ были положительные, или принимают в качестве $\tilde{A}_0$ меньшее значение результатов измерений $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \tilde{A}_3, \ldots, \tilde{A}_n$. В этом случае одна из разностей γ_i будет равна нулю.

6.5 Определяют среднее весовое значение $\tilde{A}_p$ результата измерения по формуле

$$\tilde{A}_p = \tilde{A}_0 + \frac{P_1(\tilde{A}_1)\gamma_1 + P_2(\tilde{A}_2)\gamma_2 + P_3(\tilde{A}_3)\gamma_3 + \ldots P_n(\tilde{A}_n)\gamma_n}{P(\tilde{A}_1) + P(\tilde{A}_2) + P(\tilde{A}_3) + \ldots P(\tilde{A}_n)} = \tilde{A}_0 + \frac{\sum_1^n P(\tilde{A}_i)\gamma_i}{\sum_1^n P(\tilde{A}_i)}. \tag{7}$$

6.6 Вычисляют уклонения $\nu(\tilde{A}_i)$ по формулам:

$$\begin{aligned} \nu(\tilde{A}_1) &= \tilde{A}_1 - \tilde{A}_p, \\ \nu(\tilde{A}_2) &= \tilde{A}_2 - \tilde{A}_p, \\ \nu(\tilde{A}_3) &= \tilde{A}_3 - \tilde{A}_p, \\ &\ldots\ldots\ldots \\ \nu(\tilde{A}_n) &= \tilde{A}_n - \tilde{A}_p. \end{aligned} \tag{8}$$

6.7 Оценивают среднее квадратическое отклонение $S(\tilde{A}_p)$ среднего весового значения результата измерения

$$S(\tilde{A}_p) = \sqrt{\frac{\sum_1^n P(\tilde{A}_i) \cdot \nu^2(\tilde{A}_i)}{\sum_1^n P(\tilde{A}_i) \cdot (n-1)}}, \tag{9}$$

где n — число групп наблюдений.

6.8 Доверительные границы $\varepsilon(\tilde{A}_p)$ без учета знака случайной погрешности результата измерения искомой величины находят по формуле

$$\varepsilon(\tilde{A}_p) = t(P) \cdot S(\tilde{A}_p), \tag{10}$$

где $t(P)$ — значение коэффициента Стьюдента, который в зависимости от доверительной вероятности P и числа групп наблюдений n находят по таблице Б.3 приложения Б.

6.9 Результат измерения записывают в виде

$$A = \tilde{A}_р \pm \varepsilon\,(\tilde{A}_р),\ P, \quad (11)$$

где P — доверительная вероятность, с которой случайная погрешность измерения находится в указанных границах.

6.10 Относительную погрешность прямых неравноточных измерений искомой величины A в процентах определяют по формуле

$$\delta = \frac{\pm\,\varepsilon\,(\tilde{A}_р)}{\tilde{A}_р} \cdot 100. \quad (12)$$

7 Оценка точности косвенного измерения

7.1 Среднее значение искомой величины $\tilde{Z}$ при косвенном измерении определяют по формуле

$$\tilde{Z} = f(\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C}, \ldots), \quad (13)$$

где $\tilde{Z}$ — результат косвенного измерения;

$\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C}, \ldots$ — результаты прямых измерений величин $A, B, C, \ldots$

7.2 Методика прямых измерений величин $A, B, C, \ldots$ для косвенного измерения величины Z должна обеспечивать условия, при которых результаты измерения одной и той же величины и (или) разных величин были бы между собой независимыми.

7.3 Результаты прямых измерений и оценки средних квадратических отклонений $S(\tilde{A})$, $S(\tilde{B})$, $S(\tilde{C})$, . . . результатов прямых измерений величин $A, B, C, \ldots$ определяют согласно разделу 5.

7.4 Результат $\tilde{Z}$ косвенного измерения величины Z определяют путем подстановки аргументов (результатов прямых измерений величин $A, B, C, \ldots$) в функциональное выражение для величины Z по формуле (13).

7.5 Доверительные границы $\varepsilon\,(\tilde{A})$, $\varepsilon\,(\tilde{B})$, $\varepsilon\,(\tilde{C})$, . . . (без учета знака) случайных погрешностей результатов прямых измерений при одном и том же значении доверительной вероятности P определяют согласно разделу 3 ГОСТ 8.207 по формулам:

$$\begin{aligned} \varepsilon\,(\tilde{A}) &= t\,(P, n)\cdot S(\tilde{A}), \\ \varepsilon\,(\tilde{B}) &= t\,(P, m)\cdot S(\tilde{B}), \\ \varepsilon\,(\tilde{C}) &= t\,(P, l)\cdot S(\tilde{C}), \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots \end{aligned} \quad (14)$$

где $n, m, l, \ldots$ — число результатов наблюдений величин $A, B, C, \ldots$;

t — коэффициент Стьюдента, который находят в зависимости от доверительной вероятности P и числа результатов наблюдений $n, m, l, \ldots$ по таблице Б.3 приложения Б.

7.6 Определяют частные производные, взятые в точке, соответствующей полученным результатам прямых измерений величин $A, B, C, \ldots$ по формулам:

$$\left(\frac{df}{dA}\right), \left(\frac{df}{dB}\right), \left(\frac{df}{dC}\right), \ldots \quad (15)$$

7.7 При отсутствии корреляции между случайными погрешностями прямых измерений величин $A, B, C, \ldots$ оценку среднего квадратического отклонения косвенного измерения определяют по формуле

$$\varepsilon\,(\tilde{Z}) = \pm\sqrt{\left(\frac{df}{dA}\right)^2 \cdot \varepsilon^2\,(\tilde{A}) + \left(\frac{df}{dB}\right)^2 \cdot \varepsilon^2\,(\tilde{B}) + \left(\frac{df}{dC}\right)^2 \cdot \varepsilon^2\,(\tilde{C}) + \ldots} \quad (16)$$

7.8 При наличии корреляции между случайными погрешностями прямых измерений величин $A, B, C, \ldots$ случайную погрешность косвенного измерения определяют по формуле

$$\varepsilon(\tilde{Z}) = \pm\sqrt{\left(\frac{df}{dA}\right)^2 \cdot \varepsilon^2(\tilde{A}) + \left(\frac{df}{dB}\right)^2 \cdot \varepsilon^2(\tilde{B}) + \left(\frac{df}{dC}\right)^2 \cdot \varepsilon^2(\tilde{C}) + \ldots + 2\left(\frac{df}{dA}\right)\left(\frac{df}{dA}\right) r_{AB}\, \varepsilon(\tilde{A})\, \varepsilon(\tilde{B}) + \ldots}, \tag{17}$$

где r_{AB} — коэффициент корреляции между случайными погрешностями прямых измерений (в данном случае — величин A и B).

Коэффициенты корреляции между случайными погрешностями прямых измерений вычисляют по формулам:

$$r_{AB} = \frac{\sum_{i=1}^{N} (A_i - \tilde{A}) \cdot (B_i - \tilde{B})}{S(\tilde{A}) \cdot S(\tilde{B})},$$

$$r_{AC} = \frac{\sum_{i=1}^{N} (A_i - \tilde{A}) \cdot (C_i - \tilde{C})}{S(\tilde{A}) \cdot S(\tilde{C})}, \tag{18}$$

$$r_{BC} = \frac{\sum_{i=1}^{N} (B_i - \tilde{B}) \cdot (C_i - \tilde{C})}{S(\tilde{B}) \cdot S(\tilde{C})},$$

. . . .

где A_i, B_i, C_i — результаты наблюдений величин $A, B, C, \ldots$;
N — число результатов наблюдений.

Примечания

1 Корреляция между случайными погрешностями прямых измерений чаще всего возникает в случаях, когда измерения выполняются одновременно, и изменения влияющих величин (температуры, влажности воздуха, напряжения питания и т.п.) оказывают влияние на результаты измерения. Если параметры измеряют в разное время и для их измерения применяют разные по устройству средства измерения, то нет оснований ожидать появления корреляции.

2 При $|r| < 0{,}2$ корреляционную зависимость считают отсутствующей.

7.9 Результат косвенного измерения Z записывают в виде

$$Z = \tilde{Z} \pm \varepsilon(\tilde{Z}),\ P, \tag{19}$$

где P — доверительная вероятность, с которой случайная погрешность измерения находится в указанных границах.

7.10 Относительную погрешность косвенного измерения δ в процентах определяют по формуле

$$\delta = \frac{\pm\varepsilon(\tilde{Z})}{\tilde{Z}}. \tag{20}$$

8 Оценка воспроизводимости результатов испытаний

8.1 Результаты $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \tilde{A}_3, \ldots, \tilde{A}_N$ прямых измерений величины A, рассматриваемые как средние значения для выборок $i_1, i_2, i_3, \ldots, i_N$ независимых наблюдений при повторных испытаниях объекта и оценки средних квадратических отклонений $S(\tilde{A}_1), S(\tilde{A}_2), S(\tilde{A}_3), \ldots, S(\tilde{A}_N)$ результатов прямых измерений определяют согласно разделу 5.

Примечание — Все оценки средних квадратических отклонений получают по выборкам одинакового объема n, и число степеней свободы $k = n - 1$ для всех измерений одинаково.

8.2 Определяют оценки дисперсий результатов прямых измерений $S^2(\tilde{A}_1), S^2(\tilde{A}_2), S^2(\tilde{A}_3), \ldots, S^2(\tilde{A}_N)$.

8.3 Выбирают наибольшую по величине из оценок дисперсий результатов прямых измерений $S^2(\tilde{A}_i)_{max}$.

8.4 Вычисляют эмпирическое значение критерия Кохрена G по формуле

$$G = \frac{S^2(\tilde{A}_i)_{max}}{\sum\limits_1^N S^2(\tilde{A}_i)}, \qquad (21)$$

где $\sum\limits_1^N S^2(\tilde{A}_i) = S^2(\tilde{A}_1) + S^2(\tilde{A}_2) + S^2(\tilde{A}_3) + \ldots + S^2(\tilde{A}_N)$ — сумма оценок дисперсий результатов прямых измерений;

N — число оценок дисперсий результатов прямых измерений (число повторных испытаний).

8.5 Проверяют воспроизводимость результатов испытаний по формуле

$$G \le G_T(q, k, N), \qquad (22)$$

где G_T — критерий Кохрена, который в зависимости от уровня значимости q, числа степеней свободы k и числа оценок дисперсий N находят по таблице Б.4 или Б.5 приложения Б.

8.6 Если проверка воспроизводимости дала положительный результат (неравенство (25) выполняется), то делают вывод о равенстве генеральных дисперсий $\sigma^2(A_1) = \sigma^2(A_2) = \sigma^2(A_3) = \ldots = \sigma^2(A_N)$ результатов измерений при повторных испытаниях.

8.7 Если проверка воспроизводимости дала отрицательный результат (неравенство (22) не выполняется), то следует увеличить точность измерения с максимальной оценкой дисперсии $S^2(A_i)_{max}$ либо увеличить число повторных испытаний N.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

Примеры оценки точности и воспроизводимости результатов испытаний

Пример 1 (к разделу 5)

Результаты 41 наблюдения величины силы тока со средним значением $\tilde{x} = 6{,}500$ А содержат значение $x_{max} = 6{,}866$ А, максимально отличающееся от других.

Известно среднее квадратическое отклонение $\sigma = 0{,}133$. Результаты наблюдений подчиняются нормальному закону распределения. Оцениваем результат наблюдения x_{max}.

Определяем разность между x_{max} и средним значением $\tilde{x}$:

$$x_{max} - \tilde{x} = 6{,}866 - 6{,}500 = 0{,}366 \text{ А}.$$

Вычисляем отношение

$$t_т = \frac{|x_{max} - \tilde{x}|}{\sigma\sqrt{(n-1)/n}} = \frac{0{,}366}{0{,}133\sqrt{40/41}} = 2{,}79.$$

Выбираем 1 %-ный уровень значимости $q = 0{,}01$ ($P = 0{,}99$).

По таблице Б.1 приложения Б находим для $P = 0{,}99$ значение $t(t_p) = 2{,}576$.

Значение $t_т > t(t_p)$ 2,79 > 2,576, следовательно значение x_{max} содержит грубую погрешность и из дальнейшей обработки исключается.

Пример 2 (к разделу 5)

Результаты 10 наблюдений величины силы тока приведены в таблице А.1.

Таблица А.1

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Результат наблюдения I, А	10,07	10,08	10,10	10,12	10,13	10,15	10,16	10,17	10,20	10,40

Среднее квадратическое отклонение неизвестно. Результаты наблюдений подчиняются нормальному закону распределения.

Результат наблюдения № 10 резко отличается от остальных. Оцениваем результат наблюдения № 10.

Выборочное среднее

$$\tilde{I}^* = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} I_i.$$

$$\tilde{I}^* = \frac{1}{10}(10{,}07 + 10{,}08 + 10{,}10 + 10{,}12 + 10{,}13 + 10{,}15 + 10{,}16 + 10{,}17 + 10{,}20 + 10{,}40) = 10{,}16 \text{ А}.$$

Выборочная оценка среднего квадратического

$$S^* = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{n}(I_i - \tilde{I}^*)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{10}(I_i - 10{,}16)^2}{9}} = 0{,}094.$$

$$t_{10} = \frac{I_i - \tilde{I}^*}{S^*} = \frac{10{,}40 - 10{,}16}{0{,}094} = 2{,}55.$$

По таблице Б.2 приложения Б для $n = 10$ и уровня значимости $q = 1$ % определяем теоретическое значение $t_г = 2{,}616$; так как $t_{10} = 2{,}55 < t_г = 2{,}616$, то наблюдение № 10 исключить нельзя.

Пример 3 (к разделу 5)

Результаты 20 независимых наблюдений расхода топлива приведены в таблице А.2.

Таблица А.2

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Результат наблюдения G, г/с	76,3	74,7	75,7	75,5	75,7	76,0	75,3	74,9	75,5	75,4

Окончание таблицы А.2

Номер наблюдения	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Результат наблюдения G, г/с	75,3	75,1	75,5	75,4	75,8	75,9	74,9	75,7	75,3	77,1

Неисключенные систематические погрешности составляют:

$$\Delta\Theta_1 = \pm 0{,}5 \text{ г/с}; \quad \Delta\Theta_2 = \pm 0{,}3 \text{ г/с}.$$

Проверка гипотезы аномальности результатов наблюдений показала, что 20 наблюдение необходимо исключить.

Вычисляем среднее арифметическое 19 наблюдений $\tilde{G}'$

$$\tilde{G}' = \frac{\sum_{1}^{19} G_i}{19} = 75{,}5 \text{ г/с}.$$

Известная систематическая погрешность $\Delta G = 0{,}2$ г/с.

Вычисляем исправленное значение результата измерения

$$\tilde{G} = \tilde{G}' - \Delta G = 75{,}5 - 0{,}2 = 75{,}3 \text{ г/с}.$$

Вычисляем оценку среднего квадратического отклонения результата измерения

$$S^*(\tilde{G}) = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{19}(G_i - \tilde{G})^2}{19(19-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{19}(G_i - 75{,}3)^2}{342}} = 0{,}1.$$

Для доверительной вероятности $P = 0{,}95$ ($q = 0{,}05$) и числа наблюдений $n = 19$ по таблице Б.3 приложения Б выбираем коэффициент Стьюдента $t = 2{,}10$.

Вычисляем доверительные границы ε случайной погрешности

$$\varepsilon = \pm t \cdot S^*(\tilde{G}) = 2{,}01 \cdot 0{,}1 = \pm 0{,}2 \text{ г/с}.$$

Вычисляем доверительные границы суммарной систематической погрешности.

Для доверительной вероятности $P = 0{,}95$ принимаем $k = 1{,}1$.

$$\Theta = k\sqrt{\Delta\Theta_1^2 + \Delta\Theta_2^2} = 1{,}1\sqrt{0{,}5^2 + 0{,}3^2} = 0{,}6 \text{ г/с}.$$

Вычисляем оценку суммарного среднего квадратического отклонения

$$S_\Sigma = \sqrt{\frac{1}{3}(\Delta\Theta_1^2 + \Delta\Theta_2^2) + S^{*2}(\tilde{G})} = \sqrt{\frac{1}{3}(0{,}5^2 + 0{,}3^2) + 0{,}1^2} = 0{,}35.$$

Вычисляем коэффициент K

$$K = \frac{\varepsilon + \Theta}{S^*(\tilde{G}) + \sqrt{\frac{1}{3}(\Delta\Theta_1^2 + \Delta\Theta_2^2)}} = \frac{0{,}2 + 0{,}6}{0{,}1 + \sqrt{\frac{1}{3}(0{,}5^2 + 0{,}3^2)}} = 1{,}82.$$

Доверительные границы погрешности измерения:

$$\Delta = K \cdot S_\Sigma = 1{,}82 \cdot 0{,}35 = \pm 0{,}64 \text{ г/с}.$$

Результат измерения расхода топлива:

$$G = \tilde{G} \pm \Delta,\ P = 75{,}3 \pm 0{,}64 \text{ г/с } (0{,}95).$$

Относительная погрешность измерения:

$$\delta = \frac{\pm\Delta}{\tilde{G}} \cdot 100 = \frac{\pm 0{,}64}{75{,}2} = \pm 0{,}85\ \%.$$

Пример (к разделу 6)

Результаты шести групп неравноточных измерений расхода электрической энергии приведены в таблице А.3.

Таблица А.3

Номер группы	Результат измерения $\tilde{W}_i$, кВт·ч	Оценка среднего квадратического отклонения $S(\tilde{W}_i)$	Весовые значения групп наблюдений $P(\tilde{W}_i) = \frac{10}{S^2(\tilde{W}_i)}$	Разности групп $\gamma_i = (\tilde{W}_i - \tilde{W}_0) \times 10^{-3}$, кВт·ч	Уклонение v_i, кВт·ч
1	71,729	6,3	0,25	+12	+0,003
2	71,722	8,4	0,14	+ 5	–0,004
3	71,717	9,1	0,12	0	–0,009
4	71,732	4,3	0,54	+15	–0,006
5	71,730	5,2	0,37	+13	+0,004
6	71,720	7,5	0,18	+ 3	–0,006

Определяем весовые значения $P(\tilde{W}_i)$ соответствующих групп наблюдений

$$P(\tilde{W}_i) = \frac{m}{S^2(\tilde{W}_i)}.$$

Принимаем коэффициент пропорциональности $m = 10$. Результат вычислений заносим в таблицу А.3.

Выбираем приближенное значение $\tilde{W}_0$ расхода электрической энергии, равное результату третьей группы измерений $\tilde{W}_0 = \tilde{W}_3 = 71{,}717$ кВт·ч, и вычисляем разности для каждой группы измерений

$$\tilde{W}_i - \tilde{W}_0 = \gamma_i.$$

Результат записываем в таблицу А.3.

Определяем среднее весовое значение $\tilde{W}_p$ расхода электрической энергии

$$\tilde{W}_p = \tilde{W}_0 + \frac{\sum_1^6 P(\tilde{W}) \cdot \gamma_i}{\sum_1^6 P(\tilde{W}_i)},$$

$$\tilde{W}_p = 71{,}717 + \frac{(3{,}0 + 0{,}7 + 0 + 8{,}1 + 4{,}81 + 0{,}54) \cdot 10^{-3}}{1{,}6} = 71{,}726 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Вычисляем уклонения $v_i = \tilde{W}_i - \tilde{W}_p$. Результаты заносим в таблицу А.3.

Оцениваем среднее квадратическое отклонение $S(\tilde{W}_p)$

$$S(W_p) = \sqrt{\frac{\sum_1^6 P(\tilde{W}) \cdot v_i^2}{\sum_1^6 P(\tilde{W}_i) \cdot (n-1)}},$$

$$S(\tilde{W}_p) = \sqrt{\frac{(0{,}25 \cdot 9{,}0 + 0{,}14 \cdot 16{,}0 + 0{,}12 \cdot 81{,}0 + 0{,}54 \cdot 36{,}0 + 0{,}37 \cdot 16{,}0 + 0{,}18 \cdot 36{,}0) \cdot 10^{-6}}{1{,}6\,(6-1)}} =$$

$$= \sqrt{\frac{46{,}05 \cdot 10^{-6}}{8}} = 2{,}4 \cdot 10^{-3} \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Определяем доверительные границы ε случайной погрешности результата измерения:

$$\varepsilon = t\,(P) \cdot S(\tilde{W}_p).$$

Выбираем значение коэффициента Стьюдента $t\,(P)$ по таблице Б.3 приложения Б для $n = 6$ и доверительной вероятности $P = 0{,}95$ $t\,(0{,}95) = 2{,}57$.

Вычисляем $\varepsilon = 2{,}57 \cdot 0{,}0024 = \pm 0{,}0062$ кВт·ч.

Результат измерения расхода электрической энергии записываем в виде $W = 71{,}726 \pm 0{,}0062$ кВт·ч (0,95).

Относительная погрешность измерения:

$$\delta = \frac{\pm \varepsilon}{\tilde{W}_p} \cdot 100 = \frac{0{,}0062}{71{,}726} \cdot 100 = \pm 0{,}086\%.$$

Пример (к разделу 7)

Определяем активное сопротивление и случайную погрешность параллельно включенных обмоток потребителя электрической энергии по результатам прямых независимых измерений сопротивления обмоток, если $r_1 = 12$ Ом, $\varepsilon\,(r_1) = \pm 1{,}0$ Ом, $P = 0{,}95$, $r_2 = 15$ Ом, $\varepsilon\,(r_2) = \pm 0{,}5$ Ом, $P = 0{,}95$.

Результаты косвенного измерения:

$$\tilde{Z} = f(\tilde{A}, \tilde{B}),$$

$$\tilde{R} = \frac{\tilde{r}_1 \cdot \tilde{r}_2}{\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2} = \frac{12 \cdot 15}{12 + 15} = 6{,}67 \text{ Ом}.$$

Частные производные, взятые в точке, соответствующей полученным результатам прямых измерений:

$$\left(\frac{\mathrm{df}}{\mathrm{dA}}\right), \left(\frac{\mathrm{df}}{\mathrm{dB}}\right).$$

$$\frac{\mathrm{d}\tilde{\mathrm{R}}}{\mathrm{d}\tilde{\mathrm{r}}_1} = \left(\frac{\tilde{r}_2}{\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2}\right) = \left(\frac{15}{12 + 15}\right) = 0{,}56 \text{ Ом},$$

$$\frac{\mathrm{d}\tilde{\mathrm{R}}}{\mathrm{d}\tilde{\mathrm{r}}_2} = \left(\frac{\tilde{r}_1}{\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2}\right) = \left(\frac{12}{12 + 15}\right) = 0{,}44 \text{ Ом}.$$

Корреляция между случайными погрешностями прямых измерений сопротивлений обмоток отсутствует.

Случайная погрешность косвенного измерения:

$$\varepsilon\,(\tilde{Z}) = \sqrt{\left(\frac{\mathrm{df}}{\mathrm{dA}}\right)^2 \cdot \varepsilon^2(\tilde{A}) + \left(\frac{\mathrm{df}}{\mathrm{dB}}\right)^2 \cdot \varepsilon^2(\tilde{B})},$$

$$\varepsilon(\tilde{R}) = \sqrt{\left(\frac{d\tilde{R}}{d\tilde{r}_1}\right)^2 \cdot \varepsilon^2(\tilde{r}_1) + \left(\frac{d\tilde{R}}{d\tilde{r}_2}\right)^2 \cdot \varepsilon^2(\tilde{r}_2)} = \sqrt{0{,}56^2 \cdot 1{,}0^2 + 0{,}44^2 \cdot 0{,}5^2} = 0{,}6 \text{ Ом},$$

Результат косвенного измерения:

$$R = 6{,}67 \pm 0{,}6 \text{ Ом } (0{,}95).$$

Относительная погрешность косвенного измерения:

$$\delta = \frac{\varepsilon(\tilde{R})}{\tilde{R}} \cdot 100 = \frac{0{,}6}{6{,}67} \cdot 100 = \pm 9\%.$$

Пример (к разделу 8)

Определяем воспроизводимость результатов повторных измерений расхода электрической энергии, полученных по выборкам одинакового объема $n = 3$.

Результаты измерений:

$$\tilde{W}_1 = 27{,}5 \text{ кВт·ч}; \ \tilde{W}_2 = 16{,}5 \text{ кВт·ч}; \ \tilde{W}_3 = 22{,}5 \text{ кВт·ч}; \ \tilde{W}_4 = 13{,}5 \text{ кВт·ч}.$$

Оценки средних квадратических отклонений результатов измерений:

$$S(\tilde{W}_1) = 0{,}708; \ S(\tilde{W}_2) = 0{,}849; \ S(\tilde{W}_3) = 0{,}565; \ S(\tilde{W}_4) = 0{,}142.$$

Оценки дисперсий результатов измерений:

$$S^2(\tilde{W}_1) = 0{,}708^2 = 0{,}50; \ S^2(\tilde{W}_2) = 0{,}849^2 = 0{,}72;$$

$$S^2(\tilde{W}_3) = 0{,}565^2 = 0{,}32; \ S^2(\tilde{W}_4) = 0{,}142^2 = 0{,}02.$$

Наибольшая по величине из оценок дисперсий:

$$S^2(\tilde{W}_i)_{\max} = S^2(\tilde{W}_2) = 0{,}72.$$

Эмпирическое значение критерия Кохрена, G:

$$G = \frac{S^2(\tilde{W}_i)_{\max}}{\sum\limits_1^N S^2(\tilde{W}_i)} = \frac{0{,}72}{0{,}50 + 0{,}72 + 0{,}32 + 0{,}02} = 0{,}4615.$$

Оценка воспроизводимости результатов испытаний по значению критерия Кохрена G_T из таблицы Б.4 приложения Б для уровня $q = 0{,}05$, $k = n - 1 = 3 - 1 = 2$, $N = 4$:

$$G_T = 0{,}4615 < G(0{,}05, 2, 4) = 0{,}7679.$$

Результаты испытаний воспроизводимы.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

Математико-статистические таблицы

Таблица Б.1 — Значения функции Лапласа
Значения: $1-2\Phi(t)$ для $t > 2{,}5$;
$1-2\Phi(x)$ для $x > 2{,}5$

t	$\Phi(t)$	$1-2\Phi(t)$	$1-p$	$t(t_p)$	p
2,5	0,49379000	0,01242000	0,0500	1,960	0,9500
2,6	0,49534000	0,00932000	0,0400	2,054	0,9600
2,7	0,49653000	0,00693000	0,0300	2,170	0,9700
2,8	0,49744000	0,00511000	0,0200	2,326	0,9800
2,9	0,49813000	0,00373000	0,0100	2,576	0,9900
3,0	0,49865000	0,00270000	0,0090	2,612	0,9910
3,1	0,49903000	0,00194000	0,0080	2,652	0,9920
3,2	0,49937000	0,00137000	0,0070	2,697	0,9930

Окончание таблицы Б.1

t	Ф (t)	1—2Ф (t)	1—p	$t(t_p)$	p
3,3	0,49952000	0,00097000	0,0060	2,748	0,9940
3,4	0,49966000	0,00067000	0,0050	2,807	0,9950
3,5	0,49976700	0,00046500	0,0040	2,878	0,9960
3,6	0,49984100	0,00031800	0,0030	2,968	0,9970
3,7	0,49989200	0,00021600	0,0020	3,090	0,9980
3,8	0,49992700	0,00014500	0,0010	3,291	0,9990
3,9	0,49995200	0,00009600	0,0009	3,320	0,9991
4,0	0,49996800	0,00006300	0,0008	3,353	0,9992
4,1	0,49997900	0,00004100	0,0007	3,390	0,9993
4,2	0,49998700	0,00002700	0,0006	3,432	0,9994
4,3	0,49999100	0,00001700	0,0005	3,481	0,9995
4,4	0,49999500	0,00001100	0,0004	3,540	0,9996
4,5	0,49999966	0,00000680	0,0003	3,615	0,9997
4,6	0,49999979	0,00000410	0,0002	3,720	0,9998
4,7	0,49999987	0,00000250	0,0001	3,891	0,9999
4,8	0,49999992	0,00000160	10^{-5}	4,417	$1 \cdot 10^{-5}$
4,9	0,49999995	0,00000009	10^{-6}	4,892	$1 \cdot 10^{-6}$
5,0	0,49999997	0,00000006	10^{-7}	5,327	$1 \cdot 10^{-7}$

Таблица Б.2 — Значения q-процентных точек распределения максимальных по модулю отношений результатов наблюдений от их среднего значения

$$t_{\text{г}} = \frac{\max |x_i - x|}{\delta}$$

Число наблюдений n	Значение $t_{\text{г}}$ при уровнях значимости q, %				
	0,1	0,5	1,0	5,0	10
3	1,414	1,414	1,414	1,414	1,412
4	1,732	1,730	1,728	1,710	1,689
5	1,994	1,982	1,972	1,917	1,869
6	2,212	2,183	2,161	2,067	1,996
7	2,395	2,344	2,310	2,182	2,093
8	2,547	2,476	2,431	2,273	2,172
9	2,677	2,586	2,532	2,349	2,238
10	2,788	2,680	2,616	2,414	2,294
11	2,884	2,760	2,689	2,470	2,343
12	2,969	2,830	2,753	2,519	2,387
13	3,044	2,892	2,809	2,563	2,426
14	3,111	2,947	2,859	2,602	2,461
15	3,171	2,997	2,905	2,638	2,494
16	3,225	3,042	2,946	2,670	2,523
17	3,274	3,083	2,983	2,701	2,551
18	3,320	3,120	3,017	2,728	2,577
19	3,361	3,155	3,049	2,754	2,601
20	3,400	3,187	3,079	2,779	2,623
21	3,436	3,217	3,106	2,801	2,644
22	3,469	3,245	3,132	2,823	2,664
23	3,500	3,271	3,156	2,843	2,683
24	3,529	3,295	3,179	2,862	2,701
25	3,556	3,318	3,200	2,880	2,718
26	3,582	3,340	3,220	2,897	2,734
27	3,606	3,360	3,239	2,913	2,749
28	3,629	3,380	3,258	2,929	2,764
29	3,651	3,399	3,275	2,944	2,778
30	3,672	3,416	3,291	2,958	2,792

Таблица Б.3 — Коэффициент распределения Стьюдента t

Число наблюдений n	Значение t при доверительной вероятности P или α				
	0,900	0,950	0,980	0,990	0,999
2	6,31	12,71	31,82	63,68	636,62
3	2,92	4,30	6,97	9,93	31,60
4	2,35	3,18	4,54	5,84	12,92
5	2,13	2,78	3,75	4,60	8,61
6	2,02	2,57	3,37	4,06	6,87
7	1,94	2,45	3,14	3,71	5,96
8	1,90	2,37	3,00	3,50	5,41
9	1,86	2,31	2,90	3,36	5,04
10	1,83	2,26	2,82	3,25	4,78
11	1,81	2,23	2,76	3,17	4,59
12	1,80	2,20	2,72	3,11	4,44
13	1,78	2,18	2,68	3,06	4,32
14	1,77	2,16	2,65	3,01	4,22
15	1,76	2,15	2,62	2,98	4,14
16	1,75	2,13	2,60	2,95	4,07
17	1,75	2,12	2,58	2,92	4,02
18	1,74	2,11	2,57	2,90	3,97
19	1,73	2,10	2,55	2,88	3,92
20	1,73	2,09	2,54	2,86	3,88
∞	1,65	1,96	2,33	2,58	3,29

Таблица Б.4 — Верхние односторонние пределы для величины $G_{кр}$ в зависимости от чисел степеней свободы (k) и чисел оценок дисперсии (N) для G-распределения Кохрена при уровне значимости $q = 0{,}05$

Число оценок дисперсии N	Число степеней свободы k													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	16	36	144	∞
2	0,9985	0,9750	0,9392	0,9057	0,8584	0,8534	0,8332	0,8159	0,8010	0,7880	0,7341	0,6602	0,5813	0,5000
3	0,9669	0,8709	0,7977	0,7457	0,7071	0,6771	0,6530	0,6333	0,6167	0,6025	0,5466	0,4748	0,4031	0,3333
4	0,9065	0,7679	0,6841	0,6287	0,5895	0,5598	0,5365	0,5175	0,5017	0,4884	0,4366	0,3720	0,3093	0,2500
5	0,8412	0,6838	0,5981	0,5440	0,5063	0,4783	0,4564	0,4387	0,4241	0,4118	0,3645	0,3060	0,2513	0,2000
6	0,7808	0,6161	0,6321	0,4803	0,4447	0,4148	0,3980	0,3817	0,3682	0,3568	0,3135	0,2612	0,2119	0,1667
7	0,7271	0,5612	0,4800	0,4307	0,3907	0,3726	0,3555	0,3384	0,3254	0,3154	0,2756	0,2273	0,1833	0,1429
8	0,6798	0,5157	0,4377	0,3910	0,3595	0,3362	0,3185	0,3043	0,2926	0,2829	0,2462	0,2020	0,1516	0,1250
9	0,6385	0,4775	0,4027	0,3584	0,3286	0,3067	0,2901	0,2768	0,2659	0,2568	0,2226	0,1820	0,1446	0,1111
10	0,6020	0,4450	0,3733	0,3311	0,3029	0,2823	0,2666	0,2541	0,2439	0,2353	0,2032	0,1655	0.1308	0,1000
12	0,6410	0,3924	0,3264	0,2880	0,2624	0,2439	0,2299	0,2187	0,2098	0,2020	0,1737	0,1403	0,1100	0,0833
15	0,4709	0,3346	0,2758	0,2419	0,2195	0,2034	0,1911	0,1315	0,1736	0,1671	0,1429	0,1144	0,0889	0,0667
20	0,3894	0,2705	0,2205	0,1921	0,1835	0,1602	0,1601	0,1422	0,1357	0,1303	0,1108	0,0879	0,0675	0,0500
24	0,3434	0,2354	0,1907	0,1656	0,1493	0,1374	0,1286	0,1216	0,1160	0,1113	0,0942	0,0743	0,0567	0,0417
30	0,2929	0,1980	0,1593	0,1377	0,1237	0,1137	0,1061	0,1002	0,0958	0,0921	0,0771	0,0604	0,0457	0,0337
40	0,2370	0,1576	0,1259	0,1082	0,0968	0,0887	0,0827	0,0780	0,0745	0,0713	0,0595	0,0462	0,0347	0,0250
60	0,1737	0,1131	0,0895	0,0766	0,0682	0,0623	0,0583	0,0552	0,0520	0,0487	0,0411	0,0316	0,0234	0,0167
120	0,0998	0,0632	0,0495	0,0419	0,0371	0,0337	0,0312	0,0292	0,0279	0,0266	0,0218	0,0165	0,0120	0,0083
∞	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Таблица Б.5 — Верхние односторонние пределы для величины $G_{кр}$ в зависимости от чисел степеней свободы (k) и чисел оценок дисперсии (N) для G-распределения Кохрена при уровне значимости q = 0,01

Число оценок дисперсии N	Число степеней свободы k													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	16	36	144	∞
2	0,9999	0,9950	0,9794	0,9586	0,9373	0,9172	0,8988	0,8823	0,8674	0,8539	0,7949	0,7067	0,6062	0,5000
3	0,9933	0,9433	0,8831	0,8355	0,7933	0,7606	0,7335	0,7107	0,6912	0,6743	0,6059	0,5153	0,4230	0,3333
4	0,9676	0,8643	0,7814	0,7212	0,6761	0,6410	0,6129	0,6897	0,6702	0,5536	0,4884	0,4057	0,3451	0,2500
5	0,9279	0,7885	0,0957	0,6329	0,5875	0,5531	0,5259	0,5037	0,4854	0,4697	0.4090	0,3351	0,2644	0,2500
6	0,8828	0,7218	0,6258	0,5635	0,5195	0,4866	0,4608	0,4401	0,4229	0,4084	0,3529	0,2858	0,2229	0,1667
7	0,8376	0,6644	0,5685	0,5080	0,4659	0,4347	0,4105	0,3911	0,3751	0,3616	0,3105	0,2494	0,1929	0,1429
8	0,7954	0,6162	0,5209	0,4627	0,4226	0,3932	0,3704	0,3522	0,3373	0,3248	0,2779	0,2241	0,1700	0,1260
9	0,7544	0,5727	0,4810	0,4251	0,3870	0,3592	0,3378	0,3207	0,3067	0,2950	0,2514	0,1992	0,1521	0,1111
10	0,7175	0,5358	0,4469	0,3934	0,3572	0,3308	0,3106	0,2945	0,2813	0,2704	0,2297	0,1811	0,1376	0,1000
12	0,6528	0,4751	0,3919	0,3428	0,3099	0,2861	0,2680	0,2535	0,2419	0,2320	0,1961	0,1535	0,1157	0,0833
15	0,5747	0,4069	0,3317	0,2882	0,2593	0,2386	0,2228	0,2104	0,2002	0,1918	0,1612	0,1251	0,0934	0,0667
20	0,4799	0,3297	0,2654	0,2288	0,2048	0,1877	0,1748	0,1646	0,1567	0,1501	0,1248	0,0960	0,0709	0,0500
24	0,4247	0,2871	0,2295	0,1970	0,1759	0,1608	0,1495	0,1406	0,1338	0,1283	0,1060	0,0810	0,0595	0,0417
30	0,3632	0,2412	0,1913	0,1635	0,1454	0,1327	0,1232	0,1157	0,1100	0,1054	0,0867	0,0658	0,0480	0,0333
40	0,2940	0,1915	0,1508	0,1281	0,1135	0,1033	0,0957	0,0898	0,0853	0,0816	0,0668	0,0503	0,0363	0,0250
60	0,2151	0,1371	0,1069	0,0902	0,0796	0,0722	0,0668	0,0625	0,0594	0,0567	0,0461	0,0344	0,0245	0,0167
120	0,1252	0,0759	0,0585	0,0489	0,0429	0,0387	0,0357	0,0334	0,0316	0,0302	0,0242	0,0178	0,0125	0,0083
∞	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

УДК 621:006.354 ОКС 19.020 Т51 ОКСТУ 0011

Ключевые слова: точность, воспроизводимость, испытания, показатели энергетической эффективности

Энергосбережение

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ И ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Р 50.1.025—2000

БЗ 2—2000/32

Редактор *В.П. Огурцов*
Технический редактор *Л.А. Гусева*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *В.И. Грищенко*

Изд. лиц. №02354 от 14.07.2000. Сдано в набор 18.01.2001. Подписано в печать 09.02.2001. Формат $60 \times 84^1/_8$. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,40. Тираж 372 экз. Зак. 142. Изд. № 2661/4. С 233.

ИПК Издательство стандартов, 107076, Москва, Колодезный пер., 14.
Набрано в Издательстве на ПЭВМ
Филиал ИПК Издательство стандартов — тип. «Московский печатник», 103062, Москва, Лялин пер., 6.
Плр № 080102