

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ**

**ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
ПО ИЗУЧЕНИЮ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ВАКУУМА (ВНИИ ПВ)**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ  
О ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ  
МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

**МИ 1453—86**

**Москва  
ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ  
1987**

**РАЗРАБОТАНЫ** Всесоюзным научно-исследовательским центром по материалам и веществам Госстандарта СССР (ВНИЦ МВ Госстандарта СССР), Московским институтом стали и сплавов

**ИСПОЛНИТЕЛИ**

Л. В. Кобликова; Г. А. Карпова; М. И. Орлов, канд. физ.-мат. наук

**ПОДГОТОВЛЕНЫ К УТВЕРЖДЕНИЮ** Всесоюзным научно-исследовательским институтом метрологической службы (ВНИИМС)

Начальник отдела стандартизации Г. П. Сафаров

**УТВЕРЖДЕНЫ** секцией № 3 научно-технического Совета Всесоюзного научно-исследовательского центра по изучению свойств поверхности и вакуума 19 декабря 1985 г. (протокол № 25).

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Оценка достоверности данных  
о физико-механических свойствах металлов и сплавов

МИ 1453—86

Введены в действие  
с 1 июля 1987 г.

Настоящие методические указания устанавливают основные принципы оценки достоверности результатов измерений физико-механических свойств металлов и сплавов.

Методические указания рассчитаны на инженерно-технических и научных работников лабораторий физико-механических испытаний.

Излагаемые методы оценки достоверности данных предусматривают возможность использования ЭВМ.

Методические указания разработаны в дополнение к государственным стандартам на методы определения физико-механических свойств металлов и сплавов.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Методы определения данных о физико-механических свойствах металлов и сплавов\* регламентируются действующими государственными стандартами. Настоящие методические указания устанавливают основные принципы оценки достоверности результатов измерений физико-механических свойств металлов и сплавов\*\*.

1.2. Методические указания распространяются на данные, полученные методами измерений макроскопически изотропного материала в зоне температур и внешних физических воздействий, не приводящих к изменению его химического состава и структуры.

1.3. Определение данных в различных областях науки и техники проводится с разных физических позиций:

в математических теориях упругости, пластичности и ползучести, исходя из представлений о сплошной среде;

в физике твердого тела с учетом атомной структуры и ее нарушений на основе теории дислокаций и вакансий;

в металловедении с учетом микроструктуры и ее изменений;

в физико-химической механике с учетом воздействий окружающей среды на деформируемое тело.

\* В дальнейшем — данные.

\*\* В дальнейшем — результаты измерения.

1.4. Оценка достоверности данных должна проводиться на основе обеспечения и оценки точности определения данных конкретным методом определения и сравнительного анализа и сопоставления результатов измерения с оцененными данными, полученными в других лабораториях, с помощью методов и средств измерения, основанных на других физических предпосылках и позициях. Поскольку данные об одном и том же свойстве в большей или меньшей степени согласованы, основной задачей при проведении сравнительного анализа является оценка согласованности данных между собой.

## 2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАННЫХ О ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

2.1. Большое число методов получения данных о физико-механических свойствах металлов и сплавов основано на выполнении косвенных измерений, то есть измерений, при которых значения измеряемой величины  $A$  находят путем согласованных измерений других величин—аргументов  $A_i$ , связанных с измеряемой величиной известной зависимостью

$$A = f(A_1, \dots, A_m), \quad (1)$$

где  $A$  — искомое значение косвенно измеряемой величины;  $f$  — функциональная зависимость, форма которой и природа связанных ею величин заранее известны;  $A_1, \dots, A_m$  — значения величин  $A_i$ .

По виду функциональной зависимости (1) необходимо различать косвенные измерения с линейной зависимостью (линейные) с нелинейной зависимостью (нелинейные) между измеряемой величиной и аргументами.

2.2. Так как аргументы  $A_i$ , содержащие случайные и систематические погрешности измерений, являются случайными величинами, измеряемую величину  $A$  следует рассматривать функцией случайных величин с нормальным распределением вероятностей.

2.3. В качестве оценки истинного значения косвенно измеряемой величины  $A$  необходимо принимать значение, получаемое подстановкой в (1) средних арифметических значений аргументов.

$$\bar{A} = f(\bar{A}_1, \dots, \bar{A}_m). \quad (2)$$

2.4. Результаты измерения величин  $A, A_1, \dots, A_m$  должны быть представлены совокупностью следующих данных:

$\bar{A}$  — оценка измеряемой величины;

$\bar{A}_i$  — оценка аргумента  $A_i$ ;

$\Theta(\alpha), \Theta_1(\alpha)$  — границы систематической погрешности результата измерения, вычисленной для доверительной вероятности  $\alpha$ ;

$S, S_1$  — оценка среднего квадратического отклонения результата измерения;

$n$  — число наблюдений, использованных для нахождения  $S, S_1$ .

2.5. Систематические погрешности, возникающие при измерении физико-механических свойств металлов и сплавов, обусловлены многими причинами, как то:

несоответствием представлений о структуре и физических свойствах материала образца, положенных в основу теоретического соотношения;

несоответствием геометрии образца (формы, размеров), принятым в модели;

несоответствием условий внешнего воздействия на образец, принятым при проведении измерений (его закреплении в измерительной установке, воздействие агрессивных сред, неучтенное воздействие температур, воздушных потоков, атмосферного давления, влажности воздуха, вибраций, магнитных и электрических полей, ионизирующих излучений и др.);

неточностью показаний измерительных приборов из-за их конструкционных недостатков или технологического несовершенства изготовления (наличием люфтов и мертвых ходов в подвижных частях, неравномерным трением в опорах, неточностью градуировки средств измерения, старением (износом) деталей, элементов узлов измерительных приборов, а также нарушением их регулировки и т. д.);

несовершенством метода измерения, как следствие некоторых допущений и упрощений, применением эмпирических формул и функциональных зависимостей вместо точных, неполным знанием всех свойств наблюдаемых явлений и т. п.;

индивидуальными особенностями наблюдателя.

2.5.1. Поскольку невыявленные систематические погрешности могут быть причиной ошибочных выводов, установления ложных законов, неудовлетворительной конструкции устройства и массового брака на производстве, для обеспечения достоверности получения данных необходимо проводить тщательный анализ и учет возможных причин появления систематических погрешностей.

2.5.2. Учет систематических погрешностей заключается в их обнаружении и максимально возможном исключении путем введения компенсирующей поправки.

2.5.3. При прямых измерениях  $A_1$  с точным оцениванием систематических погрешностей необходимо различать средства измерения, показания которых дают оценку измеряемой величины (основные) и средства измерения влияющих величин (дополнительные). Для основных средств измерения необходимо установить индивидуальные систематические погрешности, для дополнительных можно ограничиться данными нормативных документов. Далее необходимо найти функции влияния тех влияющих величин, кото-

рые при измерении могут оказаться за пределами области их нормальных значений.

$$C = - \left( \sum_{i=1}^k \Theta_{oi} + \sum_{j=1} W_j E_j \right) \quad (3)$$

где  $C$  — поправка;  $\Theta_{oi}$  — оценка систематической погрешности основных средств измерения;  $E_j$  — оценка влияющей величины;  $W_j$  — коэффициент влияния.

2.5.4. Неисключенные систематические погрешности должны учитываться при определении погрешности аргументов  $A_i$ .

Например, причинами неисключенных остатков систематических погрешностей могут быть:

систематические погрешности образцовых средств, с помощью которых оценивались погрешности основных средств измерения;

погрешности оценки влияющей величины и определения коэффициента влияния;

возможная динамическая погрешность и т. п.

2.5.5. Для вычисления неисключенных систематических погрешностей их необходимо рассматривать как случайные величины с равномерной плотностью распределения  $\Theta_i$ , принимая, что распределение  $\Theta$  изменяется в зависимости от числа слагаемых  $\Theta_i$  от равномерного до нормального.

$$\Theta = \sum_{k=1}^n df/dA_i \Theta_i, \quad (4)$$

где  $df/dA_i$  — частная производная в точке измерения или коэффициент влияния  $\Theta_i$  на  $\Theta$ .

2.5.6. В случае линейных косвенных измерений, когда  $A = \sum_{i=1}^m b_i \cdot A_i$ , для оценки границ систематической погрешности следует пользоваться следующими правилами.

2.5.6.1. Если число  $m$  мало и  $\Theta_i$  можно считать равномерно распределенными в пределах границ  $\Theta_i$ , то

$$\Theta_{(a)} = k \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2 \Theta_i^2}. \quad (5)$$

Значения коэффициента  $k$  приведены в ГОСТ 8.207—76.

При  $m \leq 3$  следует также оценить сумму  $\sum_{i=1}^m b_i \Theta_i$ , и если

$k \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2 \Theta_i^2} > \sum_{i=1}^m b_i \Theta_i$ , то за границы неисключенной систематической погрешности нужно принять

$$\Theta_{(a)} = \sum_{i=1}^m b_i \Theta_i. \quad (6)$$

2.5.6.2. Если составляющие  $\Theta_i$  образованы большим числом слагаемых и все границы  $\Theta_i$  вычислены для одной и той же доверительной вероятности  $\alpha$ , то

$$\Theta_{(\alpha)} = \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2 \Theta_i^2}, \quad (7)$$

Если  $k$  слагаемых  $\Theta_i$  имеют нормальное распределение и  $l$ -равномерное, то

$$\Theta_{(\alpha)} = t_{\Sigma} \cdot S(\Theta), \quad (8)$$

$$t_{\Sigma} = \frac{\Theta_k + \Theta_l}{S_k + S_l}, \quad (9)$$

$$S(\Theta) = \sqrt{S_k^2 + S_l^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^k b_i^2 \left( \frac{\Theta_i}{t_{1+\alpha}} \right)^2 + \sum_{j=1}^l b_j^2 \frac{\Theta_j^2}{3}}, \quad (10)$$

2.5.7. В случае нелинейных косвенных измерений, когда  $A = A_1^k \cdot A_2^l \dots A_m^n$ , расчет систематической погрешности результата измерения необходимо производить в относительной форме

$$\Delta = \frac{\Theta}{A}. \quad (11)$$

Вместо абсолютных погрешностей измерений аргументов во всех формулах следует оперировать их относительными погрешностями. Коэффициенты влияния для относительных погрешностей аргументов оказываются равными показателями степеней соответствующих аргументов.

$$\Delta = \sqrt{k^2 \Delta_1^2 + l^2 \Delta_2^2 + \dots + n^2 \Delta_m^2}. \quad (12)$$

Для расчета границ систематической погрешности результата измерения необходимо пользоваться теми же правилами, что и в п. 2.5.6, границы систематических погрешностей  $\Theta_i$  заменить на  $\Delta$ , а коэффициенты  $b_i$  на коэффициенты влияния в относительной форме.

2.5.8. В случае нелинейной зависимости смешанного типа уравнение принимает вид

$$A = \prod_{i=1}^m f_i(A_i) + \dots + \prod_{i=1}^r f_i(A_i). \quad (13)$$

Расчет систематической погрешности результата измерения  $A$  приведен в пп. 2.5.6 и 2.5.7.

2.6. Случайная погрешность результата косвенного измерения, образующаяся путем сложения случайных погрешностей аргументов  $A_i$  с большим основанием может считаться нормально распределенной величиной.

2.6.1. Оценка среднего квадратического отклонения случайной погрешности определяется соотношением

$$S_{\tilde{A}} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial f}{\partial A_i} \right)^2 \cdot S_i^2 + 2 \sum_{\substack{k, l=1 \\ k \neq l}}^m \frac{\partial f}{\partial A_l} \cdot \frac{\partial f}{\partial A_k} \cdot S_l \cdot S_k \cdot \tilde{\rho}_{kl}}, \quad (14)$$

где  $df/dA_i$  — частная производная в точке измерения, вычисляемая при средних арифметических значениях аргументов;  $S_l$ ,  $S_k$  — оценки средних квадратических отклонений результатов измерений величин  $A_l$  и  $A_k$  соответственно;  $\tilde{\rho}_{kl}$  — оценка коэффициента корреляции между случайными погрешностями  $l$  и  $k$ -аргументов;  $m$  — количество аргументов.

2.6.2. При линейных косвенных измерениях

$$S_{\tilde{A}}^2 = \sum_{i=1}^m b_i^2 \cdot S_i^2 + 2 \sum_{\substack{k, l=1 \\ k \neq l}}^m \tilde{\rho}_{kl} \cdot b_k \cdot b_l \cdot S_k \cdot S_l, \quad (15)$$

$$\text{где } \tilde{\rho}_{kl} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{kj} - \tilde{A}_k)(x_{lj} - \tilde{A}_l)}{S_k \cdot S_l}. \quad (16)$$

Корреляция между погрешностями измерений аргументов возникает тогда, когда измерения выполняются одновременно на однотипных средствах измерений и изменение величин оказывает воздействие на результаты наблюдений.

Если же аргументы измеряют в разное время и для их измерений применяют разные по устройству средства измерений, то нет оснований ожидать появления корреляции между погрешностями этих измерений, в этом случае формула (15) принимает вид

$$S^2(\tilde{A}) = \sum_{i=1}^m b_i^2 \cdot S_i^2(\tilde{A}_i). \quad (17)$$

2.6.3. В случае нелинейных косвенных измерений

$$S(\tilde{A}) = \sqrt{W_1^2 S_1^2 + \dots + W_m^2 S_m^2}, \quad (18)$$

где  $W_i$  — коэффициенты влияния

$$W_i = \frac{\partial f(A_1, \dots, A_m)}{\partial A_i}. \quad (19)$$

В случае, если  $A = k \cdot A_1^{\alpha} \cdot A_2^{\beta} \cdot \dots \cdot A_m^{\gamma}$ , расчет  $S(\tilde{A})$  необходимо производить в относительной форме

$$S_{\%}(\tilde{A}) = \sqrt{\alpha^2 S_{\%}^2(\tilde{A}_1) + \dots + \gamma^2 S_{\%}^2(A_m)}. \quad (20)$$

2.6.4. Доверительные границы случайной погрешности определения вычисляются, исходя из нормального закона распределения случайных погрешностей по формуле

$$\Delta = t_{\alpha} \cdot S(\tilde{A}), \quad (21)$$

где  $t_{\alpha}$  — квантиль нормального распределения.



### **3. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ О ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

3.1. Оценка достоверности данных, полученных в процессе проведенного эксперимента, заключается в проведении сопоставительного анализа результатов измерения с данными, полученными принципиально различными путями в других экспериментах и лабораториях.

3.2. Важной задачей в процедуре оценки достоверности является комплектование наиболее представительного массива имеющихся экспериментальных данных измеренной величины или величин, связанных с ней функционально, и выбора из всего массива экспериментальных данных наилучших по точности определения и достоверности. Необходимо отличать ситуации, когда сравнение результатов оправдано и когда оно недопустимо.

Например, лишено смысла сопоставление таких результатов измерений, при которых по существу измерялись разные по размерам величины или оценка точности определения сопоставляемых данных сомнительна и т. п.

3.3. Достоверность полученных в процессе эксперимента данных подтверждается (не подтверждается) при проведении анализа их согласованности между собой.

3.4. Математически задача сводится к проверке принадлежности массивов сопоставляемых данных одной и той же генеральной совокупности с одним центром и дисперсией рассеивания. Методы проверки однородности массива состоят в анализе значимых смещений относительно друг друга средних значений  $\bar{A}_j$  и их дисперсий  $D[A_j]$ .

3.5. Для проведения сопоставительного анализа делается ряд допущений:

возможное множество результатов измерений и случайные погрешности  $\psi_j$  распределены по нормальному закону;

систематическая погрешность  $\Theta_j$  конкретной реализации способа измерений принимается случайной, равномерно распределенной величиной;

весовые коэффициенты  $j$  массива данных определяются дисперсиями результатов измерений

$$D[A_j] = D[\Theta_j] + D[\psi_j]. \quad (22)$$

3.5.1. Проверка однородности массива, образованного из полученных при эксперименте и сопоставимых данных, выполняется с использованием статистических методов Стьюдента, Фишера, Аббе, а также корреляционного и регрессионного анализа.

4. В случае невозможности применения методов статистического анализа для оценки сопоставимости научных результатов оценка достоверности проводится авторами в пределах их компетенции и с использованием методов квалиметрии (экспертных оценок).

Необходимость применения этих методов должна быть аргументирована и процедура их применения тщательно описана.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**Оценка достоверности данных  
о физико-механических свойствах металлов и сплавов**

**МИ 1453—86**

*Редактор Н. А. Аргунова  
Технический редактор М. И. Максимова  
Корректор М. М. Герасименко*

Сдано в наб. 11.12.86 Подп. в печ. 18.01.87 Т—01413 Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub> Бумага типографская  
№ 1 Гарнитура литературная Печать высокая 0,75 усл. п. л. 0,75 усл. кр.-отт. 0,46 уч.-изд. л.  
Тираж 2000 Зак. 5530 Изд. № 9379/4 Цена 3 коп.

---

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП,  
Новопресненский пер., д. 3.  
Вильнюсская типография Издательства стандартов, ул. Миндауго, 12/14.