

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Самарская государственная сельскохозяйственная академия»

**М. П. Макарова**

# **Метрология, стандартизация и сертификация**

*Учебное пособие*

Кинель 2014

УДК 601(075)  
ББК 30.10.Р  
М-54

*Рецензенты:*

д-р с.-х. наук, проф., зав. кафедрой земледелия, почвоведения, агрохимии  
и земельного кадастра ФГБОУ ВПО Самарской ГСХА

*С. Н. Зудилин;*

д-р техн. наук, проф., декан факультета «Управление территориями»  
ФГБОУ ВПО Пензенского ГУАС

*О. В. Тараканов*

**Макарова, М. П.**

**М-54** Метрология, стандартизация и сертификация : учебное  
пособие / М. П. Макарова. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2014. –  
134 с.

**ISBN 978-5-88575-354-8**

В издании представлены материалы, необходимые для проведения лабораторных работ при изучении дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация», контрольные вопросы и тесты для проверки знаний.

Учебное пособие написано в соответствии с программой дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация» для бакалавров, обучающихся в высших учебных заведениях по направлению подготовки «Землеустройство и кадастры», профиль «Землеустройство».

**ISBN 978-5-88575-354-8**

© Макарова М. П., 2014  
© ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА, 2014

## Предисловие

Учебное пособие разработано в рамках базовой части цикла общепрофессиональной дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация» учебного плана бакалавров, обучающихся по направлению «Землеустройство и кадастры», профиль «Землеустройство».

Цель пособия состоит в том, чтобы в простой и ясной форме рассказать о взаимосвязи метрологии, стандартизации и сертификации, которые являются главными инструментами обеспечения качества продукции, работ и услуг, разработки, создания и реализации конкурентоспособной продукции.

Управление, обеспечение качества продукции, работ и услуг являются важным аспектом инновационной деятельности будущего бакалавра инженера.

В теоретической части каждой лабораторной работы сформулированы основные понятия и выдержки из нормативных документов, необходимые при выполнении работ.

В пособии представлены вопросы влияния качества измерений на конечный результат деятельности; методы и средства обеспечения единства измерений; методы математической обработки результатов измерений; действующая нормативно-техническая документация в области стандартизации и сертификации.

В процессе изучения данного пособия у студентов должны формироваться следующие профессиональные компетенции:

- умение использовать в своей деятельности нормативные правовые документы;
- способность и готовность к проведению экспериментальных исследований.

## Лабораторная работа №1

### Системы физических величин и их единиц измерения

**Цель работы:** сформировать знания о международной системе физических величин (SI) и их единиц измерений, о правилах образования производных единиц в системе SI и умения определять размерности производных единиц.

Международная система единиц (SI) введена с 1961 г. В настоящее время применение единиц для выражения результатов измерений регламентировано положением ГОСТ 8.417-2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.

Данный межгосударственный стандарт, устанавливает единицы измерения, применяемые в Российской Федерации и некоторых других странах, входивших ранее в СССР. В стандарте определены наименования, обозначения, определения и правила применения этих единиц. В России с 1 сентября 2003 г. действует ГОСТ 8.417-2002, заменивший ГОСТ 8.417-81.

Стандарт не устанавливает единицы величин, оцениваемых по условным шкалам, единицы количества продукции, а также обозначения единиц физических величин для печатающих устройств с ограниченным набором знаков.

Основными объектами метрологии являются физические величины и измерения.

*Физическая величина* – свойство измеряемого объекта, общее в качественном отношении для многих физических объектов, но индивидуальное – в количественном отношении для каждого из них.

Из определения термина «физическая величина» следует, что она имеет две характеристики: *качественную*, или *размерность*, определяемую как наименование, и *количественную*, или *размер*, определяемую как значение измеряемой величины.

Совокупность наименований физических величин и единиц их измерений составляют систему измерений.

*Система физических величин (СФВ)* – совокупность взаимосвязанных физических величин, образованная по принципу, когда одни физические величины являются независимыми (основными физическими величинами), а другие являются их функциями

(производными физическими величинами). СФВ представляет собой структурную схему связей или алгебраическую диаграмму операторов физических величин. Эти связи описываются математическими выражениями.

Физические величины, единицы которых устанавливаются независимо от других величин в системе, называют *основными величинами*, а их единицы – *основными единицами*.

Физическая величина  $X$  может быть при помощи математических действий выражена через другие физические величины  $A, B, C$  уравнением вида

$$X = k A^{\alpha} B^{\beta} C^{\gamma}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности;

$\alpha, \beta, \gamma$  – показатели степени.

Формула (1) показывает, как производная величина связана с основными величинами, и называется формулой размерности. Коэффициент пропорциональности в таких уравнениях за редким исключением равен 1. Значение этого коэффициента не зависит от выбора единиц, а определяется только характером связи величин, входящих в уравнение.

*Производная единица системы единиц* – это единица производной физической величины системы единиц, образованная в соответствии с уравнением, связывающим ее с основными единицами.

*Основная физическая величина* – это физическая величина, входящая в систему единиц и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы.

В Международной системе единиц (SI) приняты следующие семь единиц: длина, масса, время, сила электрического тока, термодинамическая температура, количество вещества и сила света.

Каждой основной величине присвоен символ в виде прописной буквы латинского или греческого алфавита, называемой ***размерностью*** основной физической величины. Например, длина имеет размерность  $L$ , масса –  $M$ , время –  $T$ , сила электрического тока –  $I$ , термодинамическая температура –  $\Theta$ , сила света –  $J$ , количество вещества –  $N$ .

***Размерность физической величины*** – это выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных величин в различных степенях и отражающее связь данной физической величины с физическими величинами, принятыми

в данной системе величин за основные, с коэффициентом пропорциональности, равным единице.

Степени символов основных величин, входящих в одночлен, могут быть целыми, дробными, положительными и отрицательными в зависимости от связи рассматриваемой величины с основными. Связь производной величины через другие величины системы выражается *определяющим уравнением* производной величины. Размерность производной величины определяется путем подстановки в определяющее уравнение вместо входящих в него величин их размерностей. Причем, для этого используются *простейшие* уравнения связи, которые могут быть представлены в виде формулы (1).

Например, если определяющим уравнением для скорости  $v$  является уравнение

$$v = \ell/t,$$

где  $\ell$  – длина пути, пройденного за время  $t$ ,  
то размерность скорости определяется по формуле

$$LT^{-1}.$$

Формы уравнений, связывающих величины, не зависят от размеров единиц: какие бы единицы мы не выбирали, соотношения величин останутся неизменными и одинаковыми с соотношениями числовых значений. Этим свойством измерение отличается от всех других приемов оценки величин.

Размерность величин обозначается символом  $\dim$ . В нашем случае размерность скорости будет выражена как

$$\dim v = LT^{-1}.$$

Например, в системе величин  $LMT$  (длина, масса, время) размерность любой величины  $X$  в общем виде будет выражаться формулой

$$\dim x = L^l M^m T^t,$$

где  $L, M, T$  – символы величин, принятых в качестве основных, в данном случае это длина, масса и время;

$l, m, t$  – показатели размерности производной величины  $x$ .

Размерность служит *качественной характеристикой* величины и выражается произведением степеней основных величин, через которые может быть определена.

Размерность является более *общей характеристикой*, чем уравнение связи между величинами, так как одну и ту же размер-

ность могут иметь величины разной природы, например, сила и кинетическая энергия.

Над размерностями можно производить различные действия: умножение, деление, возведение в степень и извлечение корня.

Во всех случаях, когда размерность физической величины определяется из уравнения физики, включающего производные величины, содержащие одни и те же основные величины, выражение размерности упрощается таким образом, что каждая основная физическая величина входит в размерность только один раз с показателем степени, равным сумме показателей степеней этой величины.

Например, размерность давления будет иметь следующий вид

$$\dim(p) = \frac{\dim(F)}{\dim(s)} = \frac{\dim(m)\dim(a)}{\dim(s)} = \frac{LMT^{-2}}{L^2} = L^{-1}MT^{-2}. \quad (2)$$

Размерности имеют широкое практическое применение и позволяют:

- переводить единицы из одной системы в другую;
- проверять правильность расчетных формул;
- оценивать изменение размера производной величины при изменении размеров основных величин.

### Задание 1. Решить типовые задачи.

1. Кинетическая энергия тела массой  $m$ , движущегося со скоростью  $v$ , равна  $A_k = mv^2/2$ . Скорость тела равна  $v = l/t$ , где  $l$  – пройденный путь,  $t$  – время. Определите размерность этой величины.
2. Емкость конденсатора определяется выражением  $C = q/U$ , зная, что размерность заряда  $q$  равна  $П$ , а размерность напряжения  $U$  равна  $L^2MT^{-3}I^1$ , определить размерность  $C$ .
3. Электрическое сопротивление определяется выражением  $R = U/I$ , зная, что размерность напряжения  $U$  равна  $L^2MT^{-3}I^1$ , а размерность тока  $I$  равна  $I$ , определить размерность  $R$ .
4. Заряженный конденсатор обладает энергией  $W = CU^2/2$ , зная, что размерность напряжения  $U$  равна  $L^2MT^{-3}I^1$ , а размерность емкости  $C$  равна  $L^2M^{-1}T^4I^2$ , определить размерность  $W$ .
5. Энергия определяется по уравнению  $E = mc^2$ , где  $m$  – масса,  $c$  – скорость света. Укажите размерность энергии  $E$ .
6. Два проводника с сопротивлениями  $R_1=100 \text{ Ом}$  и  $R_2=200 \text{ Ом}$  соединены параллельно, общее сопротивление определяется выражением

$R = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$ , размерность проводников  $R_1$  и  $R_2$  равна  $L^2 M T^{-3} I^{-2}$ , определить размерность общего сопротивления.

7. Давление определяется по уравнению  $p = F/S$ , где  $F = m \cdot a$ ,  $m$  – масса,  $a$  – ускорение,  $S$  – площадь поверхности, воспринимающей усилие  $F$ . Напишите размерность давления.

8. Мощность определяется по уравнению  $P = Fl/t$ , где действующая сила  $F = m \cdot a$ ,  $m$  – масса,  $a$  – ускорение,  $l$  – длина плеча приложения силы,  $t$  – время приложения силы. Укажите размерность мощности  $P$ .

9. Работа определяется по уравнению  $A = F \cdot l$ , где сила  $F = m \cdot a$ ,  $m$  – масса,  $a$  – ускорение,  $l$  – длина перемещения. Укажите размерность работы  $A$ .

10. Электрическое напряжение определяется по уравнению  $U = P/I$ , где  $P = m \cdot a \cdot l/t$ ,  $m$  – масса,  $a$  – ускорение,  $l$  – длина,  $I$  – сила электрического тока. Укажите размерность электрического напряжения.

### Контрольные вопросы

1. Какое практическое применение имеют размерности?
2. Дайте определение размерности физической величины.
3. Перечислите основные единицы величин, используемые в метрологии.
4. Раскройте сущность Международной системы единиц.
5. Каким документом регламентировано положение о Государственной системе обеспечения единства измерений и в частности единицы величин?
6. В каком году была введена в России (тогда СССР) Международная система единиц?
7. Как называется система, в которой в качестве основных приняты такие величины, как длина, масса, время, сила электрического тока, температура, количество вещества и сила света?
8. Виды физических величин.



## Лабораторная работа №2

### Прямые измерения с многократными наблюдениями

**Цель работы:** научиться проводить обработку прямых многократных равноточных измерений.

Многократные измерения и методы обработки результатов прямых многократных измерений представлены в национальном стандарте ГОСТ Р 8.736-2011. Настоящий стандарт распространяется на прямые многократные независимые измерения и устанавливает основные положения методов обработки результатов этих измерений и вычисления погрешностей оценки измеряемой величины. В настоящем стандарте учтены требования, предъявляемые к методам и результатам измерений.

Многократные измерения выполняются как в системах контроля и сбора информации и метрологической деятельности, так и при выполнении научных экспериментов. Выполнение многократных равноточных измерений, как правило, выполняется для повышения точности измерений, в частности для уменьшения влияния случайных погрешностей. Результат каждого измерения при этом дает оценку измеряемой величины.

Измерения называются *равноточными*, если выполняются одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях. Совокупность результатов многократных измерений в большинстве случаев подчиняется нормальному закону распределения.

#### ***Выдержки из ГОСТа Р 8.736-2011***

При статистической обработке группы результатов наблюдений следует выполнить следующие операции:

- ✓ исключить известные систематические погрешности из результатов наблюдений;
- ✓ вычислить среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений, принимаемое за результат измерения по формуле

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad (3)$$

- ✓ вычислить оценку среднего квадратического отклонения результата наблюдения по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}}, \quad (4)$$

где  $x_i$  –  $i$ -й результат наблюдения;

$\bar{X}$  – результат измерения (среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений);

$n$  – число результатов наблюдений;

- ✓ вычислить оценку среднего квадратического отклонения результата измерения по формуле

$$S(\bar{X}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (5)$$

- ✓ проверить гипотезу о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению;

*Примечание: при числе наблюдений  $n < 15$  принадлежность их к нормальному распределению не проверяют, а доверительные границы случайной погрешности результата определяют лишь в том случае, если достоверно известно, что результаты наблюдений принадлежат нормальному закону.*

- ✓ вычислить доверительные границы  $\varepsilon$  (без учета знака) случайной погрешности результата измерения:

$$\varepsilon = t_p \cdot S(\bar{X}), \quad (6)$$

где  $t_p$  – коэффициент Стьюдента, который в зависимости от доверительной вероятности  $P$  и числа результатов наблюдений  $n$  находят по таблице 1.

Таблица 1

Значение коэффициента  $t_p$  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	$\infty$	1,960	2,576
14	2,145	2,977			