

# Метрологія, інформаційно-вимірювальні технології та системи

УДК 681.2-5

Бакер Альравашдех, М.П. Сергиенко

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

## ПРОБЛЕМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

*В работе проведен сравнительный анализ, рассмотрены достоинства и недостатки существующей на сегодняшний день терминологической и общетехнической нормативной документации в области динамических измерений и идентификации динамических характеристик средств измерительной техники. Рассмотрены распространенные термины и проанализированы их определения, выбраны или предложены определения, наиболее полно соответствующие своим терминам.*

**Ключевые слова:** средство измерительной техники, динамическое измерение, динамическая характеристика, нормативный документ, стандартизация.

### Введение

Как известно, применение терминологических стандартов и словарей является одним из ключевых аспектов взаимопонимания и успешного сотрудничества специалистов как на национальном, так и на международном уровнях во всех отраслях науки и промышленности. При этом необходимы их регулярная актуализация, совершенствование и дополнение, отсутствие противоречий и повторяемости, для обеспечения чего Законом Украины «О стандартизации» [1] установлена периодичность проверки национальных нормативных документов (НД) не реже одного раза в пять лет с дня их принятия.

Термины и определения в области динамических измерений в настоящее время установлены в Украине такими национальными стандартами:

- 1) ДСТУ 2681-94 «Метрологія. Терміни та визначення» [2];
- 2) РМГ 29-99 «Метрологія. Основные термины и определения» [3], введенный в Украине в качестве Рекомендаций;
- 3) ГОСТ 21878-76 «Случайные процессы и динамические системы. Термины и определения» [4];
- 4) ДСТУ ГОСТ 8.256:2008 «ГСИ. Нормирование и определение динамических характеристик аналоговых средств измерений. Основные положения» [5], принятый методом подтверждения взамен ГОСТ 8.256-77. В соответствии с [6] метод подтверждения не требует перевода и перепечатывания текста межгосударственного стандарта, при таком методе межгосударственный стандарт применяется на языке оригинала;

5) ДСТУ ГОСТ 8.009:2008 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений» [7], принятый методом подтверждения взамен ГОСТ 8.009-84;

6) ГОСТ 8.504-84 «ГСИ. Метрологические характеристики средств измерений и точностные характеристики средств автоматизации ГСП. Общие методы оценки и контроля» [8]. Этот стандарт термины и определения не устанавливает, однако не содержит и ссылок на источники, в которых они установлены. Данным стандартом установлен перечень полных динамических характеристик (ДХ).

Кроме национальных стандартов действует методика МИ 1951-88 «ГСИ. Динамические измерения. Термины и определения» [9].

Примечательно, что ни один из указанных национальных НД не гармонизирован с международными стандартами.

Также вследствие того, что последний из рассматриваемых НД был создан в 1988 году, термин «средство измерений» будем считать соответствующим современному термину «средство измерительной техники».

Рассмотрим основные термины и их определения, рекомендуемые указанными НД.

### 1. Термины «динамическое измерение» и «динамическая погрешность»

Установлены следующие определения для термина «динамическое измерение»:

1. Динамическое измерение – измерение величины, которая изменяется при измерении [2].

2. Динамическое измерение – измерение изменяющейся по размеру физической величины [3]. В примечании указано: «Строго говоря, все физические величины подвержены тем или иным изменениям во времени. В этом убеждает применение все более и более чувствительных средств измерений, которые дают возможность обнаруживать изменение величин, ранее считавшихся постоянными, поэтому разделение измерений на динамические и статические является условным».

3. Динамическое измерение – измерение, при котором средство измерений используют в динамическом режиме [9]. В примечании указано, что «динамический режим использования средства измерений характеризуется такими изменениями измеряемой величины (информативного параметра входного сигнала) за время проведения измерительного эксперимента, которые влияют на результат измерения (оценку измеряемой величины)».

Таким образом, очевидно противоречие, поскольку НД [3] устраняет различия между статическим и динамическим измерением, считая все измерения динамическими, а НД [9] указывает условие, при котором измерение следует считать либо статическим, либо динамическим. С точки зрения получения оценок результатов измерительного эксперимента такое разделение необходимо для адекватного применения методов и алгоритмов обработки экспериментальных данных с учетом их сложности и требуемой точности.

Для термина «динамическая погрешность средства измерений» установлены такие определения:

1. Динамическая погрешность средства измерений – составляющая погрешности, возникающая дополнительно к статической при динамических измерениях [2]. Это определение получено переводом с украинского определения.

2. Динамическая погрешность средства измерений – разность между погрешностью средства измерений в динамическом режиме и его статической погрешностью, соответствующей значению величины в данный момент времени [2]. Это определение, данное в стандарте [2] на русском языке.

3. Динамическая погрешность средства измерений – погрешность средства измерений, возникающая при измерении изменяющейся (в процессе измерений) физической величины [3].

4. Динамическая погрешность средства измерений – разность между погрешностью средства измерений в динамическом режиме и его статической погрешностью, соответствующей значению величины в данный момент времени [9]. Это определение было дано в соответствии с ГОСТ 16263-70 [10], на основе которого был создан НД [3].

Очевидно, что определения, данные в [2] и [9], похожи и разделяют статическую и динамическую

составляющие погрешности измерения. Определение, данное в [3], такого разделения при измерении изменяющейся величины не предусматривает.

Кроме рассмотренных терминов, НД [3] содержит термин «динамическая погрешность измерений»:

Динамическая погрешность измерений – погрешность результата измерений, свойственная условиям динамических измерений.

А НД [9] содержит термин «погрешность результата динамического измерения»:

Погрешность результата динамического измерения – отклонение результата динамического измерения от истинного значения измеряемой величины (мгновенного сигнала).

Термин, приведенный в [9], и его определение сформулированы четче и полнее отражают суть рассматриваемого понятия, чем термин, данный в [3], и его определение.

Таким образом, для термина «динамическое измерение» предпочтительным является определение, данное в [9], для термина «динамическая погрешность средства измерений» – определение, данное в [3], и можно рекомендовать использовать термин «погрешность результата динамического измерения» и определение, приведенное в [9].

## 2. Термин «динамическая характеристика»

Для термина «динамическая характеристика» установлены такие определения:

1. Динамическая характеристика средства измерений – метрологическая характеристика свойств средства измерений, проявляющихся в том, что на выходной сигнал этого средства измерений влияют значения входного сигнала и любые изменения этих значений во времени [7].

2. Динамическая характеристика средства измерений – метрологическая характеристика, предназначенная для выражения динамических свойств средства измерений [9]. В свою очередь динамическое свойство средства измерений – свойство средства измерений, которое проявляется в том, что уровень переменного воздействия на средство измерений в какой-либо момент времени обуславливает выходной сигнал средства измерений в последующие моменты времени.

Второе определение полнее отражает суть термина «динамическая характеристика», поэтому можно порекомендовать использовать именно это определение. Также его можно записать в следующем виде:

Динамическая характеристика средства измерений – метрологическая характеристика, предназначенная для выражения свойств средства измерений, проявляющихся в том, что уровень переменного воздействия на средства измерений в какой-либо

момент времени обуславливает выходной сигнал средства измерений в последующие моменты времени.

По принципу полноты ДХ делятся на полные и частные.

Для термина «полная динамическая характеристика средства измерений» используются такие определения:

1. Полная динамическая характеристика средства измерений – динамическая характеристика, однозначно определяющая изменение выходного сигнала средства измерений при любом изменении во времени информативного или неинформативного параметра входного сигнала или влияющей величины [5].

2. Полная динамическая характеристика средства измерений – динамическая характеристика, полностью описывающая принятую математическую модель динамических свойств средства измерений. Описание может быть математическим, графическим и т.п. [7].

3. Полная динамическая характеристика средства измерений – динамическая характеристика средства измерений, полностью описывающая принятую модель его динамических свойств. Примечание: полная динамическая характеристика средства измерений однозначно определяет изменение выходного сигнала средств измерения (СИ) при любом изменении во времени выходного воздействия [9].

В большей степени термину «полная динамическая характеристика средства измерений» соответствует определение, данное в [5].

Для термина «частная динамическая характеристика средства измерений» приняты следующие определения:

1. Частная динамическая характеристика средства измерений – динамическая характеристика,

представляющая собой параметр или функционал полной динамической характеристики средства измерений [5].

2. Частная динамическая характеристика средства измерений – функционал или параметр полной динамической характеристики средства измерений [7].

3. Частная динамическая характеристика средства измерений – динамическая характеристика, представляющая собой параметр или комплекс параметров полной динамической характеристики средства измерений или определяемые по ней параметр или функцию [9].

Определения, данные в [5] и [7], очень похожи между собой. Более точно отражающим суть рассматриваемого понятия является определение, данное в [9], которое в несколько измененном виде можно записать так:

Частная динамическая характеристика средства измерений – параметр или комплекс параметров полной динамической характеристики средства измерений или определяемые по ней параметр или функция.

Таким образом, для терминов «динамическая характеристика средства измерений» и «частная динамическая характеристика средства измерений» рекомендуется использовать перефразированные из [9] определения, для термина «полная динамическая характеристика средства измерений» – определение, данное в [5].

### 3. Полные динамические характеристики средств измерительной техники

Перечни ДХ средств измерительной техники (СИТ), причисляемых к полным, в рассматриваемых нормативных документах, рассмотрены в табл. 1.

Таблица 1

Перечни полных ДХ СИТ, установленные в НД

Название ДХ	НД, год принятия				
	[4], 1976	[5], 1977	[7], 1984	[8], 1984	[9], 1988
Импульсная характеристика	$+(h(t))$	+	$+(g(t))$	$+(h(t))$	$+(g(t))$
Переходная характеристика	$+(g(t))$	+	$+(h(t))$	$+(g(t))$	$+(h(t))$
Комплексная частотная характеристика	+	-		+	+
Амплитудно-фазовая характеристика	-	-	+	-	-
Амплитудно-частотная характеристика (для минимально-фазовых СИТ)	-	-	+	+	-
Совокупность амплитудно- и фазочастотной характеристик		+	+	-	-
Передаточная функция		+	+	+	+
Дифференциальное уравнение		+	-	-	-

Анализ табл. 1 указывает на целесообразность принятия такого перечня полных динамических характеристик СИТ:

- 1) импульсная характеристика;
- 2) переходная характеристика;
- 3) комплексная частотная характеристика;
- 4) совокупность амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик;
- 5) передаточная функция;
- 6) дифференциальное уравнение.

Рассмотрим определения данных динамических характеристик СИТ.

### 3.1. Импульсная характеристика

Термин «импульсная характеристика» имеет определения:

1. Импульсная характеристика системы – характеристика линейной системы, представляющая собой выходной сигнал системы при входном сигнале, имеющем вид дельта-функции [4]. Обозначается  $h(t)$ . Нерекомендованное название – «импульсно-переходная функция».

2. Импульсная переходная характеристика средства измерений – временная характеристика средства измерений, получаемая в результате приложения ко входу средства измерений входного сигнала в виде дельта-функции (функции Дирака) [7]. Обозначается  $g(t)$ .

3. Приведенная импульсная характеристика средства измерений – временная динамическая характеристика средства измерений, представляющая собой его отклик на испытательный сигнал в форме дельта-функции, отнесенный к статическому коэффициенту преобразования средства измерений [9]. Обозначена  $g(t)$ .

Примечательно, что НД [4], принятый в 1976 году, не рекомендует для обозначения импульсной характеристики использовать термин «импульсно-переходная характеристика», в то время как [7], принятый в 1984 году, использует термин «импульсная переходная характеристика».

Кроме того, в двух ([4] и [8]) из пяти рассмотренных НД импульсная характеристика обозначена  $h(t)$ , в других двух ([7] и [9]) –  $g(t)$ , что вносит явное противоречие, поскольку противоположное обозначение ( $g(t)$  и  $h(t)$  соответственно) в этих НД имеет переходная характеристика. НД [5] обозначений для ДХ не устанавливает.

Следует отметить, что на сегодняшний день для обозначения импульсной характеристики более распространенным является  $g(t)$ .

Определение, данное в [9], выделяет динамическую составляющую поведения СИТ, поэтому оно является предпочтительным.

### 3.2. Переходная характеристика

Термин «переходная характеристика» имеет следующие определения:

1. Переходная характеристика системы – характеристика линейной системы, представляющая собой выходной сигнал системы при входном сигнале, имеющем вид единичной функции [4]. Обозначается  $g(t)$ .

2. Переходная характеристика средства измерений – временная характеристика средства измерений, полученная при ступенчатом изменении входного сигнала [7]. Обозначается  $h(t)$ .

3. Приведенная переходная характеристика средства измерений – временная динамическая характеристика средства измерений, представляющая собой его отклик на испытательный сигнал в форме единичной ступенчатой функции, отнесенный к статическому коэффициенту преобразования средства измерений [9]. Обозначена  $h(t)$ .

Аналогично импульсной характеристике, переходная характеристика в [7] и [9] обозначена  $h(t)$ , в [4] и [8] –  $g(t)$ , что вносит явное противоречие. На сегодняшний день для обозначения переходной характеристики более распространенным является  $h(t)$ .

Определение, данное в [9], выделяет динамическую составляющую поведения средств измерительной техники, поэтому оно является предпочтительным.

### 3.3 Комплексная частотная характеристика

Термин «комплексная частотная характеристика» имеет такие определения:

1. Комплексная частотная характеристика системы – характеристика линейной системы, представляющая собой преобразование Фурье импульсной характеристики системы [4].

2. Приведенная комплексная частотная характеристика средства измерений (частотная характеристика средства измерений) – динамическая характеристика средства измерений, представляющая собой его амплитудно-фазовую характеристику, отнесенную к статическому коэффициенту преобразования средства измерений [9].

В свою очередь, амплитудно-фазовая характеристика средства измерений (комплексный коэффициент преобразования (передачи) средства измерений) – метрологическая характеристика средства измерений, представляющая собой зависящее от круговой частоты отношение преобразования Фурье выходного сигнала линейного средства измерений к преобразованию Фурье его входного сигнала при нулевых начальных условиях.

Определение, данное в [4], указывает исключительно на определение комплексной частотной характеристики из импульсной путем пересчета, в то время как в настоящее время установлены взаимосвязи между всеми ДХ СИТ.

Оптимальным следует считать определение, данное в [9], перефразированное в более компактную форму, а именно:

Приведенная комплексная частотная характеристика средства измерений (частотная характеристика средства измерений) – динамическая характеристика средства измерений, представляющая собой зависящее от круговой частоты отношение преобразования Фурье выходного сигнала линейного средства измерений к преобразованию Фурье его входного сигнала при нулевых начальных условиях, отнесенное к статическому коэффициенту преобразования средства измерений.

### **3.4. Совокупность амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик**

Для термина «амплитудно-частотная характеристика» установлены следующие определения:

1. Амплитудно-частотная характеристика системы – характеристика линейной системы, представляющая собой модуль комплексной частотной характеристики [4].

2. Амплитудно-частотная характеристика средства измерений – зависящее от круговой частоты отношение амплитуды выходного сигнала линейного средства измерений в установившемся режиме к амплитуде входного синусоидального сигнала [7].

3. Приведенная амплитудно-частотная характеристика средства измерений – частная динамическая характеристика средства измерений, представляющая собой зависимость от частоты гармонических испытательных сигналов амплитуды установившихся откликов на указанные сигналы (для линейных средств измерений), либо амплитуды первой гармоники установившихся откликов на указанные сигналы (для нелинейных средств измерений), отнесенной к амплитуде испытательных сигналов и статическому коэффициенту преобразования [9].

Определение, данное в [4], предполагает косвенное определение амплитудно-частотной характеристики, в то время как предпочтительным является ее прямое определение в соответствии с определением, данным в [9], которое можно считать предпочтительным.

Для термина «фазочастотная характеристика» (названия приведены в соответствии с оригиналами) установлены такие определения:

1. Фазо-частотная характеристика системы – характеристика линейной системы, представляющая собой аргумент комплексной частотной характеристики [4].

2. Фазово-частотная характеристика средства измерений – зависящая от частоты разность фаз между выходным сигналом и входным синусоидальным сигналом линейного средства измерений в установившемся режиме [7].

3. Фазочастотная характеристика средства измерений – частная динамическая характеристика средства измерений, представляющая собой зависящую от частоты гармонического испытательного сигнала разность фаз между установившимся откликом средства измерений и указанным сигналом (для линейного средства измерений), либо разность фаз между первой гармоникой установившегося отклика и указанным сигналом (для нелинейного средства измерений) [9].

Определение, приведенное в [4], устанавливает исключительно косвенное определение фазочастотной характеристики пересчетом из комплексной частотной характеристики, что делает его несостоятельным. Наиболее полно рассматриваемый термин определен в [9].

### **3.5 Передаточная функция**

Для термина «передаточная функция» установлены следующие определения:

1. Передаточная функция системы – характеристика линейной системы, представляющая собой преобразование Лапласа импульсной характеристики системы [4].

2. Передаточная функция средства измерений – отношение преобразования Лапласа выходного сигнала линейного средства измерений к преобразованию Лапласа входного сигнала при нулевых начальных условиях [7].

3. Приведенная передаточная функция средства измерений – динамическая характеристика средства измерений, представляющая собой отношение преобразований Лапласа (при нулевых начальных условиях) его отклика и вызвавшего этот отклик испытательного сигнала, отнесенное к статическому коэффициенту преобразования средства измерений [9].

Определение, данное в [4], предполагает нахождение передаточной функции путем пересчета импульсной характеристики, в то время как возможны и другие методы ее нахождения. Наиболее полно суть рассматриваемого термина раскрывает определение [9].

### **3.6 Дифференциальное уравнение**

Дифференциальное уравнение входит в перечень полных ДХ СИТ только в одном НД – [5], который не дает его определения.

Основываясь на анализе научно-технической литературы, в [11] было дано следующее определение:

Дифференциальное уравнение средства измерительной техники – зависимость производных по времени выходного сигнала средства измерительной техники от производных его входного сигнала.

### Выводы

Таким образом, был проведен сравнительный анализ, рассмотрены достоинства и недостатки существующей на сегодняшний день терминологической и общетехнической нормативной документации в области динамических измерений.

Основными проблемами стандартизации в данной области являются:

- чрезмерная повторяемость,
- противоречивость терминологии,
- практически отсутствующая соподчиненность нормативных документов,
- полное отсутствие гармонизации с международными стандартами.

Рассмотрены распространенные термины и проанализированы их определения, выбраны или предложены определения, наиболее полно соответствующие своим терминам, на основании которых в дальнейшем возможно построение единого терминологического словаря в области динамических измерений, идентификации и коррекции динамических характеристик средств измерительной техники.

### Список литературы

1. Україна. Закони. Про стандартизацію [Текст]: [закон: прийнятий Верховною Радою України 05.06.2014 №1315-VII, редакція від 10.02.2016]. – Відомості Верховної Ради, 2014, № 31, ст.1058.
2. ДСТУ 2681 – 94. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни та визначення [Текст]. – Чинний від 1995-01-01. – Київ: Держстандарт України, 1994. – 66 с.

3. РМГ 29 – 99. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения [Текст]. – Введ. в Украине 2002-05-01. – Киев: Госстандарт Украины, 2002. – 45 с.

4. ГОСТ 21878-76. Случайные процессы и динамические системы. Термины и определения [Текст]. – Введ. 1977-07-01. – М.: Издательство стандартов, 1976. – 30 с.

5. ДСТУ ГОСТ 8.256:2008 (ГОСТ 8.256-77, IDT). ГСИ. Нормирование и определение динамических характеристик аналоговых средств измерений. Основные положения [Текст]. – Введ. 2008-10-01. – М.: Издательство стандартов, 1980. – 7 с.

6. ДСТУ 1.7:2015 (ISO/IEC Guide 21-1:2005, NEQ; ISO/IEC Guide 21-2:2005, NEQ). Національна стандартизація. Правила та методи прийняття міжнародних і регіональних нормативних документів [Текст]. – Чинний з 2015-12-20. – Київ.: ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 34 с.

7. ДСТУ ГОСТ 8.009:2008 (ГОСТ 8.009-84, IDT). Державна система забезпечення єдності вимірювань. Нормовані метрологічні характеристики засобів вимірювань [Текст]. – Чинний від 2008-10-01. – М.: Стандартиформ, 2006. – 26 с.

8. ГОСТ 8.508-84. ГСИ. Метрологические характеристики средств измерений и точностные характеристики средств автоматизации ГСП. Общие методы оценки и контроля [Текст]. – Введ. 1985-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 53 с.

9. МИ 1951-88. ГСИ Динамические измерения. Термины и определения [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 18 с.

10. ГОСТ 16263-70 ГСИ. Метрология. Термины и определения [Текст]. – Не действует. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 55 с.

11. Захаров И.П. Метрологическая идентификация динамических характеристик средств измерительной техники [Текст]: учеб. пособие / И.П. Захаров, М.П. Сергиенко. – Х.: Компания СМНТ, 2012. – 232 с.

Поступила в редколлегию 28.04.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.В. Руженцев, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

### ПРОБЛЕМИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ В ОБЛАСТІ ДИНАМІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Бакер Альравашдех, М.П. Сергієнко

У роботі проведений порівняльний аналіз, розглянуті переваги та недоліки існуючої на сьогодні термінологічної і загальнотехнічної нормативної документації в області динамічних вимірювань та ідентифікації динамічних характеристик засобів вимірювальної техніки. Розглянуті поширені терміни і проаналізовані їх визначення, вибрані або запропоновані визначення, що найбільш повно відповідають своїм термінам.

**Ключові слова:** засіб вимірювальної техніки, динамічне вимірювання, динамічна характеристика, нормативний документ, стандартизація.

### THE PARTICULAR STANDARDIZATION ISSUES IN A FIELD OF DYNAMIC MEASUREMENTS

Baker Alrawashdeh, M.P. Sergiienko

It was made a comparative analysis with considering merits and demerits of current terminological and general technical documents in a field of dynamic measurements and identification of the dynamic characteristics of measuring instruments. The wide-spread technical terms were considered as well as their definitions. The definitions, which are the most matching, were offered for usage.

**Keywords:** measuring instrument, dynamic measurement, dynamic characteristic, standard, standardization.