

**МЕТРОЛОГИЯ  
И  
РАДИОИЗМЕРЕНИЯ**

**2007**



**САМАРА**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

Гречишников В.М.

МЕТРОЛОГИЯ  
И  
РАДИОИЗМЕРЕНИЯ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия*

САМАРА  
Издательство СГАУ  
2007

А

УДК 621.37  
ББК 32.842  
Г813

А



**Инновационная образовательная программа  
"Развитие центра компетенции и подготовка  
специалистов мирового уровня в области аэро-  
космических и геоинформационных технологий"**

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Л. М. Логвинов,  
д-р техн. наук, проф. А. Е. Дубинин

*Гречишников В.М.*

Г813 **Метрология и радиозмерения: учеб. пособие / В.М. Гречишников. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 160 с. : ил.**

**ISBN 978-5-7883-0649-0**

Представлено краткое изложение базовых вопросов метрологии, принципов построения и технических возможностей радиоэлектронных средств измерения параметров радиотехнических сигналов и цепей.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальностям «Техническая эксплуатация авиационных электро-систем и пилотажно-навигационных комплексов», «Радиотехника», «Бытовая радиоэлектронная аппаратура».

УДК 621.37  
ББК 32.842

**ISBN 978-5-7883-0649-0**

© Гречишников В.М., 2007  
© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2007

А

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Введение.....	6
1.	ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ.....	8
1.1	Основные метрологические понятия, термины и определения.....	8
1.2	Виды измерений.....	11
1.3	Методы измерений.....	13
1.4	Общая классификация средств измерений.....	16
1.5	Погрешности измерений.....	19
1.6	Метрологические характеристики измерительных устройств.....	27
1.7	Методы оценки случайных погрешностей измерений.....	34
1.8	Суммирование погрешностей измерений.....	38
	1.8.1 Общие правила суммирования погрешностей измерений.....	38
	1.8.2 Суммирование погрешностей с произвольными законами распределения.....	39
	1.8.3 Суммирование доверительных интервалов погрешностей измерений.....	40
	1.8.4 Погрешности косвенных измерений.....	41
1.9	Нормирование и формы представления результатов измерений.....	43
1.10	Методы обработки результатов измерений.....	44
	1.10.1 Обработка результатов прямых многократных измерений.....	44
	1.10.2 Выявление и исключение грубых погрешностей (промахов).....	45
	1.10.3 Обработка результатов прямых однократных измерений.....	47
1.11	Внесение поправок и оценка НСП.....	47
1.12	Поверка измерительных устройств.....	50
1.13	Расчет погрешности измерительных устройств по уравнению преобразования.....	53
1.14	Расчет допусков на технологические погрешности измерительных устройств.....	54
1.15	Метрологические свойства приборов с различными схемами включения измерительных преобразователей.....	57
	1.15.1 Последовательное включение измерительных преобразователей.....	57
	1.15.2 Дифференциальная схема включения измерительных преобразователей.....	59
	1.15.3 Логометрическая схема включения измерительных преобразователей.....	62

	1.15.4 Компенсационная схема включения измерительных преобразователей.....	63
1.16	Методы повышения точности измерений.....	65
2.	ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЯ.....	76
2.1	Осциллографические измерения.....	76
2.1.1	Назначение и виды осциллографов.....	76
2.1.2	Техника осциллографических измерений.....	77
2.2	Аналоговые электромеханические (стрелочные) приборы.....	85
2.2.1.	Общая теория аналоговых электромеханических приборов.....	85
2.2.2	Магнитоэлектрические измерительные приборы.....	88
2.2.3	Выпрямительные приборы.....	89
2.2.4	Расширение пределов измерения амперметров и вольтметров.....	91
2.3	Аналоговые электронные вольтметры.....	93
2.4	Измерение частоты и временных интервалов.....	94
2.4.1	Резонансный метод измерения частоты.....	94
2.4.2	Гетеродинный метод измерения частоты.....	96
2.4.3	Аналоговый конденсаторный частотомер.....	96
2.4.4	Измерение частоты методом дискретного счета.....	97
2.4.5	Измерение временных интервалов методом дискретного счета.....	99
2.4.6	Измерение временных интервалов методом совпадения.....	100
2.5	Приборы для измерения фазового сдвига.....	102
2.5.1	Аналоговый фазометр с промежуточным преобразованием фазового сдвига в импульсы тока.....	103
2.5.2	Цифровой интегрирующий фазометр.....	104
2.5.3	Микропроцессорные фазометры.....	107
2.6	Цифровые вольтметры.....	108
2.6.1	Цифровой вольтметр  времяимпульсного преобразования.....	113
2.6.2	Цифровой вольтметр с промежуточным преобразованием измеряемого напряжения в частоту.....	117
2.6.3	Цифровой вольтметр следящего уравнивания.....	120
2.6.4	Цифровой вольтметр поразрядного кодирования.....	121
2.6.5	Цифровой вольтметр параллельного преобразования.....	124
2.7	Мостовой метод измерения параметров электрических цепей.....	126
2.7.1	Общие сведения из теории мостовых схем.....	126
2.7.2	Мосты для измерения активного сопротивления.....	128
2.7.3	Цифровой автоматический мост для измерения активного сопротивления.....	130
2.7.4	Мосты для измерения индуктивности.....	132
2.7.5	Мосты для измерения емкости.....	133
2.7.6	Цифровой измеритель комплексного сопротивления на основе фазочувствительных выпрямителей.....	135
2.7.7	Мостовой измеритель параметров электрических цепей со встроенной микропроцессорной системой.....	136
2.7.8	Цифровой измеритель добротности (Q – метр).....	137
2.7.9	Цифровой измеритель активного сопротивления и емкости.....	140
2.8	Измерители АЧХ четырехполосников.....	142

2.8.1	Измерители АЧХ четырехполосников с осциллографической индикацией.....	143
2.8.2	Цифровой микропроцессорный измеритель АЧХ .....	144
2.9	Измерение числовых характеристик случайных процессов.....	146
2.9.1	Аналоговые методы и приборы для измерения математического ожидания и дисперсии.....	146
2.9.2	Цифровые методы измерения математического ожидания и дисперсии.....	147
2.9.3	Цифровой метод измерения дисперсии.....	150
2.9.4	Измерение функции распределения случайного процесса.....	152
2.9.5	Измерение плотности распределения вероятности.....	153
2.9.6	Измерение корреляционных функций.....	156
	Библиографический список.....	158

## ВВЕДЕНИЕ

Метрология – наука о методах и средствах измерения, способах обеспечения их единства и требуемой точности. Измерения являются единственным источником объективной информации о состоянии окружающего нас мира. История метрологии своими корнями восходит ко временам ранних общественно-экономических формаций. В эпоху зарождения товарного обмена были созданы примитивные меры длины, времени, массы и объема веществ. Мощный толчок к развитию метрологии дала промышленная революция 19 века, в период которой были созданы многочисленные средства механических измерений для станкостроения и металлообработки – штангенциркули, нутромеры, глубомеры, устройства для контроля шероховатости деталей и др. Некоторые конструктивные решения того времени используются и в современных мерительных инструментах, оснащенных цифровой электроникой и микропроцессорами.

С открытием явлений электричества и магнетизма, радиации, квантовых эффектов и др. возникла необходимость в создании соответствующих приборов для обслуживания новых отраслей науки и производства. Поэтому метрология и измерительная техника, аккумулирующие все самые передовые достижения науки и технологии, всегда являлись активной движущей силой научно-технического прогресса. Не случайно, что радиоизмерительные приборы прошли в своем развитии, в основном, те же этапы, что и электроника – от простейших электромеханических амперметров и вольтметров до многофункциональных микропроцессорных и виртуальных измерительных комплексов.

В настоящее время метрология сформировалась в самостоятельное научное направление, у истоков которого стояли великие российские ученые М.В. Ломоносов, Д.И. Менделеев и др. Метрология объединяет в себе обширный объем знаний, необходимых для нормального функционирования сложных технических объектов, к которым, без сомнения, относятся многочисленные радиоэлектронные устройства, приборы и системы.

Большой вклад в развитие метрологии и электрических измерений внесли представители самарской научной школы, возглавляемой профессором Л.Ф. Куликовским. Из стен этой школы вышли десятки докторов и сотни кандидатов технических наук – специалистов в области

Учебное издание

*Гречишников Владимир Михайлович*

**МЕТРОЛОГИЯ И РАДИОИЗМЕРЕНИЯ**

*Учебное пособие*

Технический редактор Ю. Ф. Широков  
Редакторская обработка А. В. Ярославцева  
Корректорская обработка Е. А. Ларионова  
Доверстка А. А. Нечитайло

Подписано в печать 26.12.07. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 10,0

Тираж 120 экз. Заказ 236. . ИП-13/2007

Самарский государственный  
аэрокосмический университет.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---

Изд-во Самарского государственного  
аэрокосмического университета.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.