



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

"Московский технологический университет"

МИРЭА

Филиал МИРЭА в г. Фрязино

Кафедра общенаучных дисциплин

ПРИНЯТО
на заседании кафедры ОНД
(протокол № 8
от «27» мая 2016 г.)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ (_____)
«__» _____ 2016 г.

В.И.ШАПОВАЛОВ, С.А.СМИРНОВА

Калибровка средств измерений. Определение действительных значений масс физических величин с помощью совокупных измерений.

Методические указания
по выполнению лабораторной работы для студентов
по курсам «Метрология, стандартизация и технические измерения»,
«Метрология, стандартизация и сертификация» и «Квалиметрия»

Введение

Важность метрологического обеспечения разработок различных технических средств, в том числе и сложных современных радиоэлектронных систем (РЭС), их комплектующих, а также технологических процессов производства на предприятиях соответствующих направлений, не вызывает сомнений [1-6].

Однако осознание этого фактора в теории не всегда отождествляется разработчиками и технологами с необходимостью проведения на практике всей совокупности работ для реального метрологического обеспечения решения этих задач. Тем более, когда на практике необходимо учитывать одновременно не один, а несколько метрологических факторов. В частности, выполнение условий единства измерений, особенно вероятностных характеристик погрешностей измерений, учет при этом классов точности средств измерений, используемых методов и методик измерений, способов и сроков их поверки не всегда решается комплексно, что может вызвать, в итоге, неприемлемость тех или иных результатов измерений при разработке РЭС [5].

Поэтому приобщение студентов к комплексному восприятию задач и возможностей метрологического обеспечения любых работ по разработке РЭС является задачей данной лабораторной работы.

Цель работы.

Изучение методов и проведение в комплексе как экспериментальных исследований, так и математических расчетов для их совместного применения при определении действительных масс значений физических величин, т.е. их калибровки.

Постановка задачи.

Получение экспериментальных и расчетных данных для их использования при калибровке средств измерений (определение действительных значений масс гирь граммовых наборов) с помощью совокупных измерений.

Обоснование задачи.

Роль измерений в жизни и развитии общества общеизвестна. Их характеристики, классификация по видам и методам являются, по сути, классическими (см. [3-6]). Одним из таких видов измерений (по методу являющимся сравнением с мерой, а по способу получения результата – совокупным) является совокупные измерения (проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин).

Применительно к метрологии совокупные измерения позволяют при известном значении одной из физических величин (мер) в виде эталона определить действительные значения остальных физических величин (мер), т.е. осуществить калибровку этих мер. Наиболее наглядным и показательным в этом смысле является калибровка (определение действительных значений) масс гирь. Она особенно необходима при ограниченном числе эталонных масс и позволяет по мере продвижения по поверочной схеме от рабочих мер к эталонам расширить диапазон измерений (определить действительные значения масс физических величин (гирь и т.п.)), т.е. прокалибровать их с сохранением класса точности средства измерений (гирь, в частности [3-5]). Калибровка в этом случае позволяет оценить погрешности и является способом поверки этих средств (определение погрешностей средств измерений и установление его пригодности к применению) [3-5].

Поэтому решение поставленной в лабораторной работе задачи является весьма актуальным.

Указания по выполнению работы.

Для выполнения работы необходимо использовать оборудование (весы класса точности «специальный» [2]), компьютерную базу учебных классов и соответствующие программное обеспечение, требования к которым определяются условием задачи.

Порядок выполнения работы.

Экспериментальная часть.

Даны два граммовых набора: «Набор №1» (состоящий из гирь номинальной массы 500, 200, 100, 50, 20, 10, 5, 2, 1 грамм) и «Набор №2» (состоящий из гирь номинальной массы 200*, 20*, 2*, 1* грамм), а также рабочий эталон (1000 грамм), который предварительно сличают методом точного взвешивания на весах класса точности «специальный» (ГОСТ 24104-2001)) [2] с гирями граммовых наборов с помощью совокупных измерений (проведение одновременно измерений нескольких одноименных величин, при которых искомую определяют решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин [3,4,5]). Т.е. измерения проводятся по схеме:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1000 - (500 + 200 + 200^* + 100) = \alpha_1 \\ 500 - (200 + 200^* + 100) = \alpha_2 \\ 200 - (100 + 50 + 20 + 20^* + 10) = \alpha_3 \\ 200^* - (100 + 50 + 20 + 20^* + 10) = \alpha_4 \\ 100 - (50 + 20 + 20^* + 10) = \alpha_5 \\ 50 - (20 + 20^* + 10) = \alpha_6 \\ 20 - (10 + 5 + 2 + 2^* + 1) = \alpha_7 \\ 20^* - (10 + 5 + 2 + 2^* + 1) = \alpha_8 \\ 10 - (5 + 2 + 2^* + 1) = \alpha_9 \\ 5 - (2 + 2^* + 1) = \alpha_{10} \\ 2 - (1^* + 1) = \alpha_{11} \\ 2^* - (1^* + 1) = \alpha_{12} \\ 1 - 1^* = \alpha_{13} \end{array} \right.$$

Константы $\alpha_1 \dots \alpha_{13}$ являются абсолютными погрешностями измерений, определяются при этом взвешивании и количественно ограничены пределами допустимых отклонений значений масс от номинала (\pm мг) для гирь класса точности E_1 (ГОСТ 7328-2001) [7].

Погрешности измерений:

$$\alpha_1=0,25; \alpha_2=0,5; \alpha_3=0,1; \alpha_4=0,1; \alpha_5=0,05; \alpha_6=0,03; \alpha_7=0,025; \alpha_8=0,025; \\ \alpha_9=0,02; \alpha_{10}=0,015; \alpha_{11}=0,012; \alpha_{12}=0,012; \alpha_{13}=0,01.$$

Расчетная часть.

Обозначим массы гирь граммовых наборов следующим образом:

500	200	200*	100	50	20	20*	10	5	2	2*	1	1*
X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃

При необходимости можно использовать таблицы любого выбранного набора масс гирь, разряд эталона гирь и ее массу, возможные при этом погрешности, соответствующие выбранному набору, эталонной гири и классу точности весов.

Для решения задачи составляется система линейных уравнений вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 1000 - \alpha_1 \\ X_1 - X_2 - X_3 - X_4 = \alpha_2 \\ X_2 - X_4 - X_5 - X_6 - X_7 - X_8 = \alpha_3 \\ X_3 - X_4 - X_5 - X_6 - X_7 - X_8 = \alpha_4 \\ X_4 - X_5 - X_6 - X_7 - X_8 = \alpha_5 \\ X_5 - X_6 - X_7 - X_8 = \alpha_6 \\ X_6 - X_8 - X_9 - X_{10} - X_{11} - X_{12} = \alpha_7 \\ X_7 - X_8 - X_9 - X_{10} - X_{11} - X_{12} = \alpha_8 \\ X_8 - X_9 - X_{10} - X_{11} - X_{12} = \alpha_9 \\ X_9 - X_{10} - X_{11} - X_{12} = \alpha_{10} \\ X_{10} - X_{12} - X_{13} = \alpha_{11} \\ X_{11} - X_{12} - X_{13} = \alpha_{12} \\ X_{12} - X_{13} = \alpha_{13} \end{array} \right. \quad (1)$$

Далее система уравнений (1) решается с помощью метода «обратной матрицы» [8].

Для этого система уравнений (1) преобразуется в матрицу коэффициентов при неизвестных:

$$\begin{array}{cccccccccccc|c} X_1 & X_2 & X_3 & X_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & U - a_1 \\ X_1 & -X_2 & -X_3 & -X_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_2 \\ 0 & X_2 & 0 & -X_4 & -X_5 & -X_6 & -X_7 & -X_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_3 \\ 0 & 0 & X_3 & -X_4 & -X_5 & -X_6 & -X_7 & -X_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_4 \\ 0 & 0 & 0 & X_4 & -X_5 & -X_6 & -X_7 & -X_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_5 & -X_6 & -X_7 & -X_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X_6 & 0 & -X_8 & -X_9 & -X_{10} & -X_{11} & -X_{12} & 0 & a_7 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X_7 & -X_8 & -X_9 & -X_{10} & -X_{11} & -X_{12} & 0 & a_8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X_8 & -X_9 & -X_{10} & -X_{11} & -X_{12} & 0 & a_9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X_9 & -X_{10} & -X_{11} & -X_{12} & 0 & a_{10} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X_{10} & 0 & -X_{12} & -X_{13} & a_{11} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X_{11} & -X_{12} & -X_{13} & a_{12} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X_{12} & -X_{13} & a_{13} \end{array}$$

Матрицы коэффициентов при неизвестных (M) и констант (k) при этом

будут иметь вид:

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \end{pmatrix}; k = \begin{pmatrix} U - \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \\ \alpha_5 \\ \alpha_6 \\ \alpha_7 \\ \alpha_8 \\ \alpha_9 \\ \alpha_{10} \\ \alpha_{11} \\ \alpha_{12} \\ \alpha_{13} \end{pmatrix};$$

Необходимым условием существования решения для этой системы является $|M| \neq 0$. Расчеты это подтверждают и дальнейшее решение будет в виде:

$$M^{-1} = \begin{pmatrix} 0,5 & 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,2 & -0,2 & 0,6 & -0,4 & -0,2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,2 & -0,2 & -0,4 & 0,6 & -0,2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,1 & -0,1 & -0,2 & -0,2 & 0,4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,05 & -0,05 & -0,1 & -0,1 & -0,3 & 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,02 & -0,02 & -0,04 & -0,04 & -0,12 & -0,2 & 0,6 & -0,4 & -0,2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,02 & -0,02 & -0,04 & -0,04 & -0,12 & -0,2 & -0,4 & 0,6 & -0,2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,01 & -0,01 & -0,02 & -0,02 & -0,06 & -0,1 & -0,2 & -0,2 & 0,4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,0055 & -0,0055 & -0,0109 & -0,0109 & -0,0327 & -0,0545 & -0,1091 & -0,1091 & -0,3273 & 0,4545 & -0,0909 & -0,0909 & -0,2727 \\ 0,0018 & -0,0018 & -0,0036 & -0,0036 & -0,0109 & -0,0182 & -0,0364 & -0,0364 & -0,1091 & -0,1818 & 0,6364 & -0,3636 & -0,0909 \\ 0,0018 & -0,0018 & -0,0036 & -0,0036 & -0,0109 & -0,0182 & -0,364 & -0,0364 & -0,1091 & -0,1818 & -0,3636 & 0,6364 & -0,0909 \\ 0,0009 & -0,0009 & -0,0018 & -0,0018 & -0,0055 & -0,0091 & -0,0182 & -0,0182 & -0,0545 & -0,0909 & -0,1818 & -0,1818 & 0,4545 \\ 0,0009 & -0,0009 & -0,0018 & -0,0018 & -0,0055 & -0,0091 & -0,182 & -0,0182 & -0,0545 & -0,0909 & -0,1818 & -0,1818 & -0,5455 \end{pmatrix}$$

$$k := \begin{pmatrix} 1000 - a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \\ a_9 \\ a_{10} \\ a_{11} \\ a_{12} \\ a_{13} \end{pmatrix}; M^{-1}k = \begin{pmatrix} 199.993 \\ 199.996 \\ 199.991 \\ 99.995 \\ 49.997 \\ 19.998 \\ 19.998 \\ 9.9998 \\ 4.999 \\ 1.999 \\ 1.997 \\ 1.000 \\ 0.999 \end{pmatrix}$$

Таким образом, есть все возможности для калибровки (один из способов поверки средств измерений) указанных граммовых наборов, т.е. для определения действительных значений масс гирь этих наборов, что является решением поставленной задачи:

M_1^{-1}	1	499,993
	2	199,996
	3	199,991
	4	99,995
	5	49,997
	6	19,998
	7	19,998
	8	9,999
	9	4,999
	10	1,999
	11	1,999
	12	1,000
	13	0,999

Результаты работы.

В итоге получим действительные значения масс гирь наборов:

«Набор №1»									«Набор №2»			
500	200	100	50	20	10	5	2	1	200*	20*	2*	1*
499,993	199,996	99,995	49,997	19,998	9,999	4,999	1,999	1,000	199,991	19,996	1,997	0,999

Выводы.

Совместное использование экспериментальных данных и результатов позволяет решить задачу калибровки средств измерений (масс гирь), т.е. определения действительных значений физических величин с помощью совокупных измерений.

В тоже время студенты получают возможность на практике использовать методологию решения систем линейных уравнений с помощью метода «обратной матрицы» на компьютерной базе Филиала.

При этом такой вариант калибровки позволяет расширить диапазон измерений масс физических величин с сохранением класса точности при ограниченном числе эталонных масс, что является актуальным в метрологической практике.

Содержание отчета.

Отчет должен содержать:

1. Краткий аналитический обзор характеристик, выводов и методов измерений.

2. Обоснование возможности использования совокупных измерений при решении задачи калибровки средств измерений (определение действительных значений масс физических величин) при ограниченном числе эталонов.

3. Требования к компьютерной базе и программному обеспечению.

4. Результаты измерений (сличение массы эталонной гири с гирями выбранного набора в различных сочетаниях, погрешности этих измерений или таблицы виртуальных измерений (таблицы набора масс гирь, эталона, возможные погрешности, соответствующие выбранному разряду эталона гири и классу точности весов)).

5. Поэтапное решение системы линейных уравнений для масс гирь данного набора или табличных данных с помощью метода «обратной матрицы».

6. Результаты расчета (действительные значения масс первого набора или табличных данных).

7. Анализ результатов измерений и расчета.

Контрольные вопросы.

1. Что такое физическая величина, размерность физической величины, единица физической величины?
2. Каково различие между энергетическими, вещественными и спектрально-временными характеристиками физических величин?
3. В чем различие между истинным, действительным, экспериментальным, номинальным и средним значениями физической величины?
4. В чем состоит суть измерения?
5. Определите каждую из основных характеристик измерений (принцип, метод, погрешность, точность, правильность и достоверность).
6. Охарактеризуйте общие методы измерений (непосредственная оценка, модификация метода сравнения с мерой).
7. Дайте определение прямых, косвенных, совместных и совокупных видов измерений.
8. В чем заключается калибровка средств измерений и ее отличие от поверки?
9. Каковы возможности совокупных измерений для калибровки средств измерений при использовании математических методов решения этой задачи?
10. В чем суть методов Крамера, «обратной матрицы», Гаусса при решении систем линейных уравнений, их возможности, различия?
11. Объясните причину выбора метода «обратной матрицы» для решения задачи калибровки средств измерений (масс гирь).
12. Каковы требования к компьютерной базе и программному обеспечению при использовании метода «обратной матрицы»?
13. Дать обоснование возможности использования результатов и выводов данной лабораторной работы на практике.

Литература.

- [1] Васильев В.П. Аналитическая химия. Физико-технические методы анализа. Москва. Высшая школа. 1989г.
- [2] ГОСТ 24104-2001. Весы лабораторные. Общие технические требования.
- [3] www.ximik.ru. Стандартизация, сертификация и метрология. Г.Д.Крылова. Москва. ЮНИТИ-ДАНА. 2003.
- [4] Г.Д. Крылова. Основы стандартизации, сертификации, метрологии. Москва. ЮНИТИ.2007.
- [5] А.С. Сигов, В.И. Нефедов. Метрология, стандартизация и технические измерения. ОАО «Издательство «Высшая школа».2008.
- [6] Н.Д. Куртнев и др. Основы метрологии. М. МИРЭА. 2000. ч.1 и 2
- [7] ГОСТ 7328-2001. Гири. Общие технические условия.
- [8] И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов. Москва. «Наука». 1980.