

Анализ результатов измерения контура и формы от множества эталонов при калибровке

К. Епифанцев, к. т. н.¹

УДК 744.42 | ВАК 2.2.4

Контурограф калибруется концевыми мерами длины (КМД), однако на многих предприятиях процесс калибровки отличается от изначально заданного в методике работы с прибором. Изменчивость процесса калибровки зависит от многих факторов – навыков оператора, от состояния КМД, средней скорости, заданной в приборе при калибровке, которая существенно экономит время прохождения щупов эталонных мер. Однако различные по своему виду приемы калибровки дают различные конечные результаты, о чем ведется речь в статье.

Применение эталонов для проведения калибровки крайне важно по ряду причин, обуславливающих необходимость введения коэффициентов компенсации для уменьшения вибрационного и температурного воздействия на прибор [1–2]. В работе исследуется процесс проведения калибровки на контурографе Contracer CV-2100 [3] с целью выявления влияния высоты калибровочной меры на погрешность при измерении. Необходимо также сказать, что при вычислении поправки прибор самостоятельно определяет величину, на которую нужно компенсировать текущие измерения, однако при осуществлении калибровки положительным считается факт достижения 100%-ного соответствия между первоначально измеренной мерой и конечным значением, которое получил оператор установки. Также это подчеркивает аккуратность при проведении измерения, отсутствие ошибок при настройке прибора.

В процессе калибровки контурографа используется эталон, состоящий из трехкомпонентного калибра (рис. 1).

На первую часть калибра необходимо поставить концевую меру на специальную поверхность калибровочной установки и измерить уступ, который образуется между концевой мерой длины и поверхностью калибровочной установки, когда щуп «падает» с концевой меры. Для исследования было использовано 16 концевых мер длины (КМД) размером от 10 до 25 мм. В ходе исследования необходимо опытным путем определить то значение концевой меры, которое контурограф будет показывать наиболее точно. Калибровка начинается с динамического режима калибровки (рис. 2).

Значения, полученные при исследовании методики калибровки представлены в табл. 1.

Для вычисления разницы полученного значения от номинального (рис. 3) используется формула:

$$l_{\text{разн}} = |l_{\text{ном}} - l_{\text{изм}}|. \quad (1)$$

Согласно методике измерений [6], меры измерений имеют погрешность 0,004–0,005 мм для различного класса точности КМД, однако в измерениях разброс значений был гораздо выше.

Изучив методику калибровки CV-2100, проведя опыты по нахождению наилучшей концевой меры для его калибровки, можно увидеть зависимость: чем больше размер концевой меры, тем больше отклонение от номинального значения, а значит, меньше точность. Конечно, не все значения отклонения становятся больше с увеличением длины концевой меры, некоторые наоборот



Рис. 1. Калибр контурографа

¹ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, доцент.

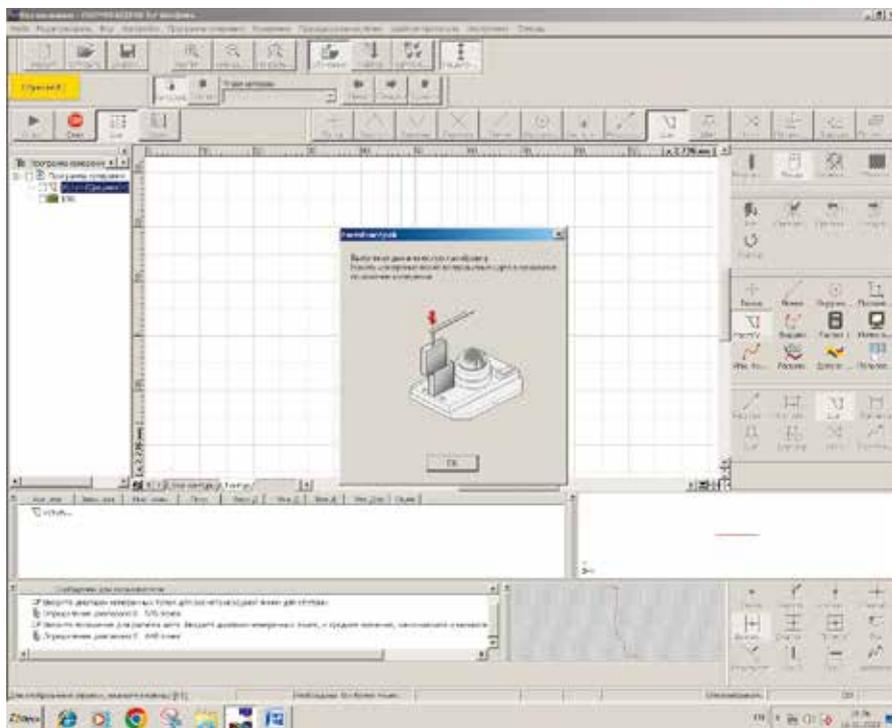


Рис. 2. Режим динамической калибровки прибора. Программа демонстрирует, как устанавливается КМД для калибровки

уменьшаются, но уже не становятся меньше, чем за несколько опытов до него.

Основным рабочим органом прибора является щуп, от правильной настройки которого зависит результат измерения (рис. 4).

Детекторный блок (ось Z1) оснащен высокоточной дуговой шкалой. Эта шкала непосредственно отслеживает траекторию дуги кончика стилуса, чтобы точнее направлять щуп, что приведет к большей точности измерения. Однако щуп со временем истирается от абразивного воздействия.

В результате опыта можно выявить наиболее подходящую концевую меру для калибровки – это концевая мера длиной 11 мм. При калибровке этой мерой разница составила всего 0,003566 мм. Самой неподходящей мерой оказалась мера длиной 24 мм. С этой концевой меры длины разница составляет 0,039509 мм. Однако необходимо также сказать, что производитель прибора рекомендует применять именно меру 25 мм, но данная мера не является мерой, показывающей самую минимальную погрешность относительно начального измерения концевой меры, и по результатам опытов данная погрешность может быть наглядно продемонстрирована. Однако стоит заметить, что величина поправки, которую прибор задает, устанавливается относительно ошибки и, по сути, соответствует разнице между начальной, номинальной мерой и полученным значением, что нивелирует разницу в значениях

Таблица 1. Результаты исследования методики калибровки

Номинальное значение концевой меры, мм	Полученное значение при калибровке, мм
10,000000	9,989965
11,000000	11,003566
12,000000	11,991909
13,000000	12,983365
14,000000	13,988771
15,000000	14,986075
16,000000	15,979937
17,000000	16,972626
18,000000	17,972980
19,000000	18,975097
20,000000	19,967570
21,000000	20,980727
22,000000	21,974396
23,000000	22,965976
24,000000	23,960491
25,000000	24,975788

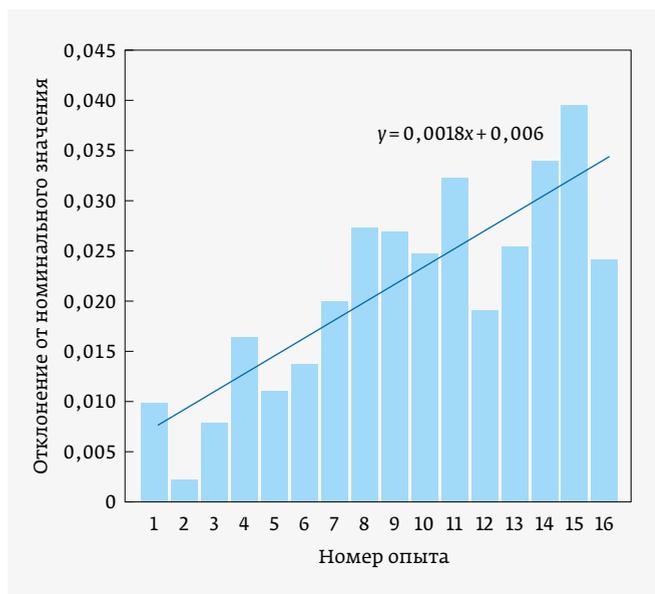


Рис. 3. Диаграмма разницы значений



Рис. 4. Приводной блок с щупом

и погрешность становится несущественной. Однако необходимо также сказать, что при любом измерении имеет место методическая и инструментальная погрешность:

- мера не обработана спиртосодержащим раствором перед началом измерения;
- щуп прибора может иметь небольшие сколы и попертости;
- окно в лаборатории может быть открыто, что создаст изменение температуры;
- установки, являющиеся источником вибрации (компрессор), могут быть не выключены;
- калибровочный эталон может быть установлен неравно относительно прибора.

Вышеперечисленные и другие факторы являются, несомненно, источниками нарастающей погрешности и уменьшения точности при последующих измерениях.

Современные типы приборов для измерения дефектов формы, контура и измерения шероховатости представляют собой полуконсольные конструкции Г-образного типа, имеющие только одну точку опоры в основании оси Z. Что, безусловно, играет негативную роль при уменьшении вибраций и других внешних факторов, увеличивающих погрешность измерения. Для уменьшения погрешности измерения используются воздушные подшипники (на кругломерах), antivибрационные стойки (на профилометрах с ЧПУ), которые уменьшают непосредственное влияние на консольные механизмы приборов. Основываясь на большом многообразии математических изысканий Гамильтона, для определения погрешностей, ранее представленных в статье при определении высоты уступа КМД (рис. 3), можно взять за основу дифференциальную

геометрию поверхностей, включающую ряд доказанных теорий [4]. Лемма Гаусса о геодезических утверждает, что любая достаточно малая окружность с центром в точке поверхности перпендикулярна каждой геодезической кривой из центра. Эта лемма используется в доказательстве того, что геодезические кривые являются локально кратчайшими кривыми. Также она играет ключевую роль в доказательстве свойств нормальных и полугеодезических координат.

Для потенциальных расчетов возможно применять следующие теоремы и доказанные математические модели:

- уравнения Петерсона – Кодацци дают локальные условия на первую и вторую квадратичные формы поверхности;
- теорема об униформизации гарантирует существование конформной параметризации данной поверхности поверхностью постоянной гауссовой кривизны;
- формула Гаусса – Бонне дает выражение интеграла гауссовой кривизны по области на поверхности;
- теорема сравнения Александра дает оценки на углы геодезического треугольника.

При работе автоматизированной системы по определению точки в пространстве, которая может иметь место как в кругломерах, так и в контурографах, КИМ (координатно-измерительных машинах), необходимо связать алгоритм ПО прибора и коэффициент компенсации действий щупа на калибровке щупа с предгильбертовым пространством [5]. В предгильбертовых функциональных пространствах, порожденных мерами $\mu_1 \dots \mu_2$, описан процесс полиортогонализации произвольной линейно независимой системы функций $\{\varphi_0(x), \varphi_1(x), \dots, \varphi_M(x)\}$. Это пространство позволяет математически определить дефекты и положение точки относительно калибровочной плоскости, линии, отверстия. В эти данные также «вклиниваются» поправочные коэффициенты по вибрации, коэффициенты температурного расширения, снимаемые с термодатчиков на координатно-измерительных машинах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гущина Е. А., Епифанцев К. В., Ефремов Н. Ю.** Цифровая метрология: учеб.-метод. пособие. СПб: ГУАП, 2022. 104 с.
2. **Окрепилов В. В. и др.** Основы метрологии: учебник. СПб: ГУАП, 2020. 479 с.
3. **Нобуо Суга.** Справочник по метрологии. Наука об измерениях // Под ред. П.Роллингс. М.: Mitutoyo, 2018.
4. Лемма Гаусса о геодезических. [Электронный ресурс]. Википедия. URL https://ru.wikipedia.org/wiki/Лемма_Гаусса_о_геодезических. Дата обращения 05.11.23
5. **Старовойтов А. П., Ковалькова А. Д.** О полиортогональных функциях первого типа // Проблемы физики, математики и техники. 2022. № 2 (51). С. 94–98.
6. Меры длины концевые плоскопараллельные. Общие требования к методикам поверки. МИ 1604-87



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



А.И. Белоус, В.А. Солодуха, С.В. Шведов

Программные и аппаратные трояны – способы внедрения и методы противодействия. Первая техническая энциклопедия

Под общей редакцией А.И. Белоуса
В 2-х книгах

Книга 1
Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2023. – 688 с.
ISBN 978-5-94836-524-4
Книга 2
Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2023. – 630 с.
ISBN 978-5-94836-524-4

Цена 3700 руб.

Впервые в мировой научно-технической литературе в объеме одного комплексного издания последовательно и детально исследован феномен программных и аппаратных троянов, которые фактически являются технологической платформой современного и перспективного информационно-технического оружия (кибероружия). Материал энциклопедии представлен в виде 12 глав.

В первой вводной главе, обобщающей результаты анализа технических возможностей и ограничений современного оружия (атомного, космического, сейсмического, климатического, различных видов СВЧ-оружия), показано, что развитие всех «обычных» и «новейших» видов вооружений дошло до такой стадии, что их реальное использование на практике будет равносильно самоубийству начавшей войну стороны. Осознание этого факта привело к развитию информационно-технического оружия (кибероружия и нейрооружия).

В главе 2 детально исследованы концепции, методы, технические средства и примеры реализации этого вида оружия. В главе 3 рассмотрены основные виды программных троянов, вирусов и шпионских программ, которые в «кибероперациях» обычно действуют солидарно, защищая и помогая друг другу. В главе 4 наглядно показан эволюционный путь развития аппаратных троянов от «ящиков» и «коробочек» до микросхем, приведены примеры их применения в компьютерах, серверах, мобильных телефонах, автомобилях и даже в одежде и обуви человека. В главах с 5-й по 9-ю детально рассмотрены основные типы троянов в микросхемах, принципы их проектирования и работы, способы внедрения, методы их маскировки, выявления в микросхемах, а также защиты и противодействия. В главах с 10-й по 12-ю представлен детальный сравнительный ретроспективный анализ основ государственной политики в США и России в области обеспечения безопасности каналов поставки микросхем.

Книга ориентирована на широкий круг читателей: от инженеров, специалистов по информационной безопасности, чиновников министерств и ведомств до школьников и пенсионеров, активно использующих социальные сети.

Как заказать наши книги?

По почте: 125319, Москва, а/я 91
По факсу: (495) 956-33-46
E-mail: knigi@technosfera.ru
sales@technosfera.ru

ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ
www.technosfera.ru