

где D_{max} – наибольший размер отверстия, мм;
 ES – верхнее предельное отклонение размера отверстия.

Максимальный предельный диаметр отверстия составил 30,033 мм.

Минимальный предельный диаметр отверстия рассчитывается по формуле 2.

$$D_{min} = D + EI, \quad (2)$$

где D_{min} – наименьший размер отверстия, мм;
 EI – нижнее отклонение размера отверстия.

Таблица 1 – Себестоимость шаблона

Статья затрат	Величина затрат, руб
Затраты на разработку средства контроля	2804,4
Затраты на материалы	210,25
Затраты на технологическую электроэнергию	395,1
Затраты на заработную плату работников	2297,9
Общепроизводственные расходы	1148,95
Общехозяйственные расходы	459,58
Внепроизводственные расходы	45,96
Итого	7362,14

Минимальный предельный диаметр отверстия составил 30 мм.

Масса изделия составляет 0,4165 кг.

Расчеты метрологических характеристик производились по эмпирическим формулам.

Для расчета надежности шаблона были выбраны следующие показатели надежности:

- максимальное напряжение = 3,315 кг/с;
- момент сопротивления сечения = 5 мм;
- прочность = 0,663 МПа;
- работоспособность = 1229,337 ч;
- сопротивление конструкции = 1230 МПа;
- нагрузочный эффект = 0,663 МПа;
- безотказность работ = 0,6 P(t);

– ремонтпригодность = 0,086 МТТР;

– долговечность = 10,59 ч.

Во время проектирования технологической документации на шаблон было подсчитано экономическое обоснование разработки.

В ходе экономических расчетов на шаблон была рассчитана себестоимость средства контроля и пранализирована эффективность выпуска данного изделия для предприятия. Выпуск шаблона считается экономически целесообразным.

Благодаря разработанному единичному средству контроля обеспечивается точность изготовления и установки на этапе производства, позволяющее сократить расходы сырья, оборудования и времени, что сказывается на стабильности сборочного процесса.

Литература

1. Об обеспечении единства измерений: Федер. закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ // Собрание законодательства РФ. – 2008. – № 26, ст. 3021. – URL: <http://www.szrf.ru/szrf/doc.php?nb=100&issid=1002008026000&docid=2> (дата обращения: 20.06.2025).
2. ГОСТ 24853-81. Калибры гладкие для размеров до 500 мм. – Введ. 01.01.1983. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200020571> (дата обращения: 20.06.2025).
3. ГОСТ 25347-82. Основные нормы взаимозаменяемости. ЕСДП. Поля допусков и рекомендуемые посадки. – Введ. 01.07.1983. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012221> (дата обращения: 20.06.2025).
4. Обработка металлов резанием: справ. технолога / под ред. А. А. Панова. – М.: Машиностроение, 2004. – 784 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 2006. – 928 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2 / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 2006. – 944 с.
7. Нормоконтроль курсовых, дипломных проектов (работ), отчетов по производственной практике. Общие требования и правила оформления: метод. пособие / К. М. Хамханов, Д. Н. Хамханова, М. Т. Хадыхов. – Улан-Удэ: ВСГУТУ, 2005. – 84 с.

УДК 006.91

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Цитович Б. В., Соколовский С. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аннотация. На основании проведенного системного анализа функциональных возможностей различных чувствительных элементов средств измерений геометрических величин обоснована необходимость использования общих подходов к проектированию таких элементов, связанных с оцениванием ожидаемых погрешностей.

Ключевые слова: геометрические величины, средства измерений, чувствительные элементы, рекомендации по проектированию.

ANALYSIS OF THE FUNCTIONAL CAPABILITIES OF SENSITIVE ELEMENTS OF MEASURING INSTRUMENTS FOR GEOMETRIC QUANTITIES

Tsytoovich B. V., Sokolovsky S. S.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. Based on the conducted systems analysis of the functional capabilities of various sensitive elements of measuring instruments for geometric quantities, the need to use common approaches to the design of such elements associated with the assessment of expected errors is substantiated.

Keywords: geometric quantities, measuring instruments, sensitive elements, design recommendations.

*Адрес для переписки: Соколовский С. С., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: s.s.sokolovsky@gmail.com*

Чувствительным элементом измерительного прибора или измерительной цепи канала измерительной установки или системы в классической метрологии называют ту составную часть первичного измерительного преобразователя, которая непосредственно взаимодействует с объектом измерения для получения от него первичного сигнала измерительной информации. Определение, приведенное в РМГ 29, в котором совершенно неправомерно объединены такие три термина как «чувствительный элемент», «первичный измерительный преобразователь» и «датчик» [1], по сути, опровергается приведенными там же примерами.

Большое разнообразие чувствительных элементов наблюдается в измерительных каналах средств измерений (СИ) геометрических величин. Среди них есть как одиночные, так и парные элементы, например, рабочая поверхность щупа трехкоординатного прибора, две пятки гладкого микрометра, две губки штангенциркуля. У нутромера могут быть два или три контактных элемента, у специально разрабатываемых «многощуповых» СИ число чувствительных элементов ограничивается только конструктивными особенностями их многомерной измерительной головки.

Очевидной представляется попытка противопоставления контактных и бесконтактных элементов, например, оптическая ось визирного микроскопа или катетометра. При этом имеются также пневматические измерительные приборы, где роль чувствительных элементов играет воздушный поток, а также приборы, в которых наличие контакта щупа с объектом подтверждается замыканием электрической цепи. Бесчисленное разнообразие чувствительных элементов заставляет отвлекаться на попытки множественных классификаций, которые уводят от сути их функционального назначения и оценивания возможностей искажения информационного сигнала в измерительной цепи СИ. В частности, наличие механического контакта чувствительного элемента с объектом измерения при значительной измерительной силе может привести к деформациям объекта и/или СИ, износу чувствительного элемента, вплоть до потери точности при многократных измерениях. Поэтому гладкий микрометр и микрометрический глубиномер снабжают устройствами ограничения измерительной силы (например, храповой ограничитель вращающего момента под общепринятым названием «трещотка»). Для координатно-измерительных щупов СИ для решения задач ограничения измерительной силы были направлены значительные интеллектуальные ресурсы, в результате чего появились оригинальные конструкции щупов

фирмы «Ренишоу» и др. Весьма актуальной оказалась проблема ограничения измерительной силы для многощуповых СИ, что привело к появлению значительного числа оригинальных решений, включая «электронные индикаторы контакта» [2] и иные.

Чувствительные элементы средств измерений (СИ) геометрических величин отличаются рядом особенностей, связанных с геометрией объектов измерений и самих чувствительных элементов. Идеальная ситуация представляется как взаимодействие одной точки чувствительного элемента с одной точкой профиля объекта измерений при совпадении линии измерения с направлением измеряемого параметра. Однако реализация такой ситуации практически не представляется возможной из-за неидеальности объекта измерения и сложностей инструментальной реализации нужного направления линии измерения.

Геометрия щуповых чувствительных элементов в первом приближении направлена на создание точечного контакта: для измерения призматических деталей используют сферические наконечники, при измерении цилиндрических поверхностей деталей применяют ножевые наконечники, а для сферических объектов используют плоские контактные поверхности щупов. Однако в реальной ситуации приходится сталкиваться с необходимостью использования универсальных средств измерений. В результате гладкие микрометры используют для измерений цилиндрических поверхностей (контакт множества образующих детали с плоским наконечником). Ножевые рабочие поверхности штангенциркуля контактируют с плоскими гранями призматических деталей, а индикаторная скоба имеет два чувствительных элемента разных форм (сферический у наконечника индикатора и плоская пятка неподвижного элемента). Во всех рассмотренных случаях наблюдается попытка минимизировать зону контакта чувствительных элементов СИ и профиля или поверхности объекта измерения.

Картина принципиально изменяется при использовании «станковых СИ», например, измерительной головки, закрепленной в стандартной стойке. Такое станковое СИ имеет два чувствительных элемента: сферический у наконечника измерительной головки и плоскость рабочего стола стойки. Деталь устанавливают на рабочий стол стойки, при этом считают, что линия измерений направлена строго перпендикулярно плоскости рабочего стола. При измерении призматических деталей площадь их контакта с нижним чувствительным элементом приближается к

номинальной площади опорной поверхности детали, благодаря чему линия измерения фиксируется по отношению к этой поверхности. Площадь контакта детали с верхним чувствительным элементом приближается к точечной. Деталь ориентируется по нижнему чувствительному элементу при фиксированном направлении линии измерений.

При установке на рабочий стол стойки номинально цилиндрической детали ситуация отличается площадью контакта, которая для идеальной детали будет представлять собой линию.

Отсутствие однозначно направленной линии измерений характерно для контактных нутромеров со сферическими измерительными наконечниками. Для накладных нутромеров задачу «выхода в диаметрально плоскость круглого сечения» можно решить за счет использования центрирующего мостика, а для поиска наименьшего размера в продольном сечении применяют «покачивание прибора» в диаметральной плоскости. Задача усложняется при измерении параметров «призматического» отверстия (например, ширины паза). В таком случае центрирующий мостик не работает, а «покачивание прибора» последовательно осуществляют в двух перпендикулярных плоскостях, поочередно фиксируя найденные направления.

Приведенные примеры измерительных работ опираются на частные случаи их реализации. Представляется полезным рассмотреть обобщенные подходы к проектированию чувствительных элементов СИ геометрических величин. Обоб-

щенные подходы должны рассматривать возможности появления погрешностей от разных источников, а не только инструментальные погрешности. При необходимости разработки нестандартизованных СИ заказчика не должно волновать то обстоятельство, что конструктор не учел возможные методические составляющие погрешности измерений. В ряде случаев методические составляющие бывают обусловлены конструкцией применяемых СИ. В частности, изогнутость оси номинально цилиндрической поверхности не выявляется сколь угодно точным накладным прибором.

Разработчик СИ должен как минимум предупредить пользователя о «мертвых зонах» предлагаемого СИ, а это означает, что квалифицированное проектирование СИ геометрических величин, в частности разработка их чувствительных элементов, должно опираться на обобщенные подходы к проектированию таких элементов, необходимость разработки которых вытекает из проведенного анализа.

Литература

1. РМГ 29-2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. – Введ. 01.09.2014. – М.: Стандартинформ, 2014. – 52 с.
2. Соколовский, С. С. Специальные электроконтактные измерительные преобразователи / С. С. Соколовский, В. Л. Соломахо, Д. В. Соломахо // Метрология и метрологическое обеспечение: тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. / под общ. ред. В. Н. Корешкова [и др.]. – Мн.: БелГИМ, 2007. – С. 318–321.

УДК 006.91

МЕРЫ: КЛАССИФИКАЦИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СФЕРЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ МЕТРОЛОГИИ

Цитович Б. В.¹, Соломахо В. Л.²

¹Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации

²Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Аннотация. Меры, в зависимости от метода воспроизведения сигнала измерительной информации, полученного при ее использовании, целесообразно классифицировать на носителей и генераторов величин определенного размера, а также индикаторов достижения определенного размера величины. Рассмотрены возможности их использования и верификации, исходя из принадлежности мер к определенной классификационной группе.

Ключевые слова: верификация мер, виды мер, метрологические характеристики мер, применение мер.

MEASURES: CLASSIFICATION AND USE IN THE SPHERE OF LEGISLATIVE METROLOGY

Tsitovich B. V.¹, Solomakho V. L.²

¹Belarusian State Institute of Standardization and Certification

²Belarusian National Technical University

Minsk, Belarus

Abstract. Measures in accordance with the type of reproduction of the signal of measuring information can be classified into carriers and generators of quantities of a certain size, as well as indicators of reaching a certain size of the quantity. The possibilities of using and verifying measures based on their belonging to a certain classification group are considered.

Keywords: verification of measures, types of measures, metrological characteristics of measures, application of measures.