

# Разработка компаратора ПКМ-100

С. Н. Степанов, к. т. н.<sup>1,2</sup>, А. В. Петров<sup>1,2</sup>, С. С. Степанов<sup>1,2</sup>

УДК 621.923

Описана конструкция и особенности работы компаратора ПКМ-100, предназначенного для измерения срединной длины и определения отклонения от плоскопараллельности концевых эталонных плоскопараллельных мер длины второго, третьего и четвертого разрядов и рабочих классов точности 1–5 длиной от 0,1 до 100 мм. Подробно описана конструкция кассеты для базирования КМД от 0,5 до 100 мм и схема измерения на компараторе ПКМ-100. Разработана специальная кассета на основе плоской стеклянной пластины ПИ-60 для базирования тонких мер номинальной длиной от 0,1 до 0,5 мм, в которой выполнены каналы для подвода вакуума и надежной фиксации концевых мер с размерами поперечного сечения 20 × 9 и 15 × 5 мм. Приведена методика и результаты поверки компаратора, подтверждающие его технические характеристики, которые позволяют использовать компаратор для поверки концевых мер второго разряда.

**Ключевые слова:** компаратор, поверка, концевые меры длины, кассета, индуктивные преобразователи

Статья получена 26.01.2021

Принята к публикации 16.02.2021

В соответствии с ГОСТ 9038-90 «Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия» в нашей стране выпускаются концевые меры с размерами поперечного сечения 35 × 9, 30 × 9, 20 × 9 и 15 × 5 мм, среди которых меры с поперечным сечением 15 × 5 и 20 × 9 мм и номинальной длиной от 0,1 до 0,5 мм в обиходе называют «блешками» из-за своей малости. Такие меры изготавливают и применяют только в нашей стране и государствах постсоветского пространства. Их практически невозможно поверять обычными методами и средствами из-за малой длины и поперечного сечения. Согласно методике поверки МИ 2079-90 аттестацию таких мер следует проводить на горизонтальном оптиметре, длиннотемере или измерительной машине путем ручного покачивания меры между подвижным и неподвижным наконечниками прибора, фиксируя экстремальное показание. Если срединную длину меры еще можно найти по такой методике, то размеры меры в углах определить невозможно. Из такого положения выходят следующим образом. Меры 2-го разряда поверяют согласно ГОСТ 8.367-79 абсолютным интерференционным методом на интерферометре Кестерса, это

очень трудоемко и малопродуктивно. Меры 3–4 разрядов и 2–5 классов точности оценивают техническим интерференционным методом, который позволяет определять параметры концевых мер длины.

Цель работы заключалась в разработке контактного метода и средства для поверки тонких мер, с помощью которого можно получать значения всех основных параметров мер: срединной длины, отклонения от номинального размера, отклонения от плоскопараллельности.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- разработать новый компаратор на базе установки УКМ-100;
- сконструировать специальную кассету для базирования КМД (концевые меры длины) номиналом от 0,1 до 0,5 мм;
- разработать методику поверки компаратора.

## Разработка компаратора ПКМ-100

Компаратор ПКМ-100 предназначен для поверки концевых мер длины 2–4 разрядов и 1–5 классов точности для мер длиной от 0,1 до 100 мм.

Компаратор ПКМ-100 – результат глубокой модернизации установки УКМ-100 для поверки концевых мер длины, которую центр «Микро» выпускает уже

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Stepanov56@mail.ru.

<sup>2</sup> ООО ИМЦ «Микро».

18 лет. Компаратор – единственный в своем роде, поскольку у него нет доведенного (очень точного) измерительного стола для базирования концевых мер. Традиционный стальной стол заменила гранитная плита 1-го класса точности размером 400×400 мм, которая не требует обслуживания при эксплуатации установки. Кроме того, на плите можно разместить два самых больших набора концевых мер длины (эталонный и поверяемый) для выравнивания их температуры.

Программное обеспечение компаратора состоит из двух частей. Первая часть касается поверки КМД, а вторая – поверки самого компаратора.

В компараторе используется дифференциальный метод измерения мер с помощью двух индуктивных преобразователей с измерительным механизмом без пар внешнего трения с вакуумным арретированием измерительных штоков.

Установка для измерения показана на рис. 1. Концевая мера устанавливается в специальную кассету и заводится в зону измерения. По команде оператора оба преобразователя в автоматическом режиме арретируются три раза и после каждого арретирования установка фиксирует показания датчиков.

Отметим ряд преимуществ схемы с использованием кассеты по сравнению с другими компараторами для поверки концевых мер.

1. Благодаря перемещению меры в кассете, она не трется об опорную поверхность и не изнашивается во время поверки.
2. Кассета на опорной стороне имеет выборку в виде копира, повторяющего схему измерений КМД, что упрощает и ускоряет процесс поверки.
3. Благодаря автоматическому арретированию датчиков, их наконечники практически не изнашиваются, так как не контактируют с мерой в момент ее перемещения в зоне измерений.

Но такая схема не годится для поверки тонких мер, так как преобразователи имеют разные измерительные усилия: верхний имеет большее усилие, чем нижний, чтобы обеспечить уверенный прижим меры к кассете. Мера испытывает давление, под действием которого она может прогнуться в кассете и деформироваться.

В центре «Микро» разработали оснастку для поверки на

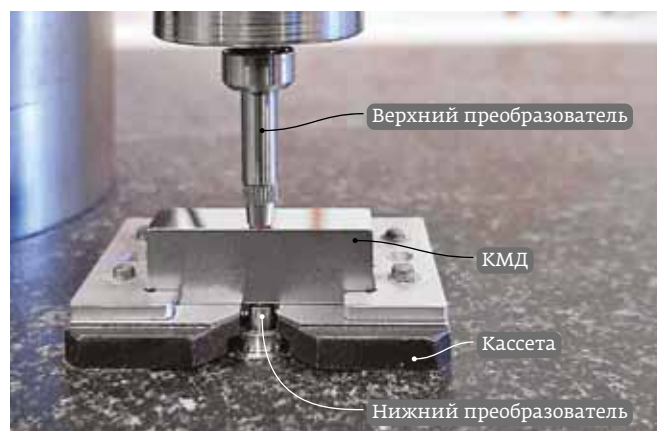


Рис. 1. Компаратор для измерения мер ПКМ-100

компараторе ПКМ-100 мер номиналом менее 0,5 мм. При этом было решено несколько задач, например: в конструкции предусмотрена опорная поверхность, которая предохраняет меру от прогиба под действием измерительного усилия; мера надежно закрепляется в оснастке; сама оснастка на погрешность поверки мер оказывает минимальное влияние.

### Кассета для базирования КМД

Разработана специальная кассета на основе плоской стеклянной пластины ПИ-60 со следующими конструктивными особенностями (рис. 2):

- плоскопараллельность верхней (на которую устанавливаются КМД) и нижней (которая

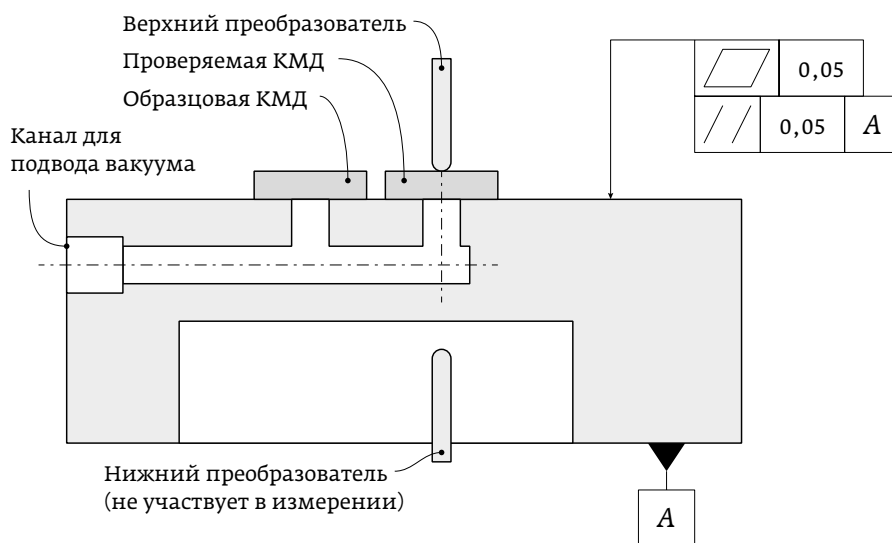


Рис. 2. Конструкция кассеты и схема измерения

Таблица 1. Размах показаний при арретировании индуктивных преобразователей

| Контролируемые точки, мкм | Показания при арретировании, мкм |         |         |         |         |         |         |         |         |         | Мин. значение показаний, мкм | Макс. значение показаний, мкм | Размах, мкм | Вывод о соответствии |
|---------------------------|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------------------------|-------------------------------|-------------|----------------------|
|                           | 1                                | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      |                              |                               |             |                      |
| +10                       | 19,855                           | 19,861  | 19,863  | 19,864  | 19,884  | 19,867  | 19,854  | 19,866  | 19,866  | 19,868  | 19,855                       | 19,884                        | 0,030       | Годе                 |
| 0                         | -0,306                           | -0,316  | -0,316  | -0,315  | -0,313  | -0,316  | -0,316  | -0,319  | -0,326  | -0,328  | -0,328                       | -0,306                        | 0,020       | Годе                 |
| -10                       | -20,410                          | -20,422 | -20,426 | -20,425 | -20,422 | -20,422 | -20,425 | -20,420 | -20,422 | -20,423 | -20,426                      | -20,410                       | 0,020       | Годе                 |

перемещается по гранитной поверхности плиты) поверхностей не более 0,05 мкм;

- два канала для подвода вакуума к поверхности, на которую устанавливаются КМД;
- полость на опорной поверхности кассеты для перемещения в зоне измерения без соприкосновения с нижним датчиком, который не участвует в измерении.

В режиме поверки тонких мер участвует только верхний преобразователь, опорной поверхностью выступает верхняя плоскость кассеты, а вакуум обеспечивает плотное прилегание мер к кассете, в остальном процесс поверки такой же, как на мерах номиналом свыше 0,5 мм. Оператор с помощью вакуумного пинцета берет эталонную и поверяемую меры и располагает их на кассете над выходом вакуумного канала. Далее в кассету подается вакуум, и меры плотно прилегают к плоскости кассеты. Далее верхний преобразователь настраивают по эталонной мере и проводят измерения поверяемой меры согласно стандартной методике.

## Методика и результаты поверки компаратора

### Определение размаха показаний при арретировании индуктивных преобразователей

Размах показаний определяют в средней (нулевой) и в двух точках (-10,0 ±0,1; 10,0 ±0,1) мкм по концевой мере 10 мм. Результаты измерения размаха приведены в табл. 1.

### Определение абсолютной погрешности измерений длины концевых мер с помощью двух пар концевых мер 0,10 и 0,11; 0,11 и 0,12 мм на компараторе ПКМ-100-02

ПКМ 100-02 позволяет поверять меры номинальной длины от 0,1 до 0,5 мм и от 0,5 до 100 мм, а другие модификации только от 0,5 до 100 мм.

Измерения проводят в разделе программы «Установка» – «Длина» в определенной последовательности, описанной в инструкции. Результаты измерений приведены в табл. 2.

Таблица 2. Абсолютная погрешность измерений длины концевых мер на компараторе ПКМ-100

| Номинальный размер меры, мм | Срединная длина мер, мкм | Разность действит. размеров двух мер, мкм | Показания при арретировании, мкм |         |         | Разность измеренных значений срединных длин мер, мкм | Погрешность, мкм | Допуст. значение погрешн., мкм | Вывод о соотв. |
|-----------------------------|--------------------------|---|----------------------------------|---------|---------|--|------------------|--------------------------------|----------------|
|                             |                          |   | 1                                | 2       | 3       |  |                  |                                |                |
| 0,10                        | 100,02                   | 10,01                                     | 0,079                            | 0,087   | 0,086   | 10,04  | 0,03             | 0,05                           | Годе           |
| 0,11                        | 110,03                   |   | 10,140                           | 10,137  | 10,138  |  |                  |                                |                |
| 0,11                        | 110,03                   | -10,01                                    | -0,026                           | -0,030  | -0,028  | -10,05   | 0,04             |                                | Годе           |
| 0,10                        | 100,02                   |   | -10,070                          | -10,090 | -10,080 |  |                  |                                |                |
| 0,11                        | 110,03                   | 10,02                                     | 0,080                            | 0,067   | 0,066   | 10,06  | 0,04             |                                | Годе           |
| 0,12                        | 120,05                   |   | 10,139                           | 10,134  | 10,136  |  |                  |                                |                |
| 0,12                        | 120,05                   | -10,02                                    | -0,024                           | -0,028  | -0,026  | -10,06   | 0,04             |                                | Годе           |
| 0,11                        | 110,03                   |   | -10,077                          | -10,089 | -10,091 |  |                  |                                |                |

Абсолютную погрешность измерений длины концевых мер  $D$  определяют по формуле:

$$D = \Delta l_{и} - \Delta l_{д},$$

где  $\Delta l_{и}$  – разность измеренных значений средних длин концевых мер, мкм;

$\Delta l_{д}$  – разность действительных значений средних длин концевых мер, мкм.

Абсолютная погрешность измерений длины концевых мер компаратора модификации ПКМ-100-02 не должна превышать  $\pm 0,05$  мкм.

## Выводы

В результате проведенной работы удалось не только реализовать аттестацию концевых мер длины номиналом от 0,1 до 0,5 мм на 3–4-й разряды, а также 1–5 классы точности, но и выполнить это без существенной переналадки компаратора ПКМ-100 и по единой методике поверки. Результаты поверки тонких мер показывают стабильность измерений.

Компаратор ПКМ-100 прошел государственные испытания с целью утверждения типа. ■

## Российский Союз химиков рекомендует

В свет вышла книга профессора, доктора химических наук, главного научного сотрудника ФГБУН ФИЦ ХФ РАН, эксперта РАН и РСХ Веры Васильевны Мясоедовой (в соавторстве с И.А. Таран) «Химия энергоемких полимерных нанокompозитов». Этот труд – многомерная история работы с актуальной и перспективной темой, вобравший более 30 лет научных изысканий, практических работ, а самое главное – прогнозов и перспектив, которые неизбежны в эпоху технологических прорывов. Книга представляет собой актуальную монографию, в которой широко представлены экспериментальные данные по физикохимии новых полимерных материалов на основе целлюлозы и ее смесей с полимерами различной химической природы. Большое внимание автор уделяет вопросам изучения закономерностей улучшения совместимости природных и синтетических полимеров, а также созданию дисперсно-наполненных нанокompозитов с заранее заданными свойствами. Так, в одной из глав Вера Васильевна описывает традиционные и новейшие подходы к повышению совместимости полимеров, а также экспериментальные данные по исследованию композиций методами ИК-фурье-спектроскопии, а также синхронных термогравиметрического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии.

В практическом плане актуальность монографии обусловлена возможностями применения в промышленности новых составов энергоемких композитов и снижения экологической

нагрузки при использовании резервного топлива из возобновляемого сырья, а также вспомогательного топлива из сортированных твердых коммунальных отходов (ТКО).

Книга содержит эксклюзивную информацию о разработанных автором составах для производства резервного топлива из биомассы, твердотопливных изделий из сортированных твердых коммунальных отходов для частичной замены природного газа во вращающихся обжиговых печах цементных предприятий. Особое внимание в книге уделено вопросам устойчивого развития в контексте применения эффективных эко-решений по переработке сортированных ТКО в формованные изделия для упаковки, автокомпонентов и др. методом литья под давлением на современных термопластавтоматах в производственных условиях.

Одна из глав монографии посвящена достижениям ученых по созданию компонентов высокоэнергоемких пиротехнических изделий, а также современным сведениям о зарубежных высокоэнергетических материалах с высоким содержанием азота, используемых в нанокompозитах и пиротехнических составах.

В монографии приводятся количественные данные и актуальная информация об окрашенных пиротехнических составах, в том числе дисперсно-наполненных на основе полимерных смесей, а также новейшие сведения о новых горючих составах, способных замещать уголь. Особую ценность монографии



составляет целенаправленное выявление и развитие важнейших аспектов научного направления химии и физикохимии энергоемких полимерных композитов различного назначения, исходя из современных ожиданий и потребностей.

Книга несомненно будет полезна для студентов и аспирантов академий химической защиты, университетов химико-технологических и энергетических специальностей, а также экологов.

Татьяна Петрова,  
пресс-секретарь Российского Союза химиков