

УДК 531.787.089

А.А. Фунтиков, А.П. Давиденко

## **АНАЛИЗ РАСЧЕТА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ГРУЗОПОРШНЕВОГО МАНОМЕТРА С ГАЗОВОЙ СМАЗКОЙ**

*В данной работе проведено исследование и расчет неопределенности грузопоршневого манометра с газовой смазкой. Целью является выявление основных влияющих факторов на результат измерения и расчет оценки неопределенности. В ходе работы оцениваются влияющие на результат измерения факторы, показана процедура оценки стандартной и расширенной неопределенностей грузопоршневого манометра. Актуальность данной темы состоит в широком применении оценки неопределенности – основы прослеживаемости измерений. Цепь прослеживаемости измерений до национальных эталонов и оценка неопределенности – необходимые условия для признания компетентности и дееспособности любой измерительной, испытательной или калибровочной лаборатории.*

*грузопоршневой манометр, неопределенность, давление, влияющие факторы, оценка*

Применение понятия «неопределенность измерений» важно для выполнения проведения сличений с национальными эталонами на международном уровне и сличение рабочих эталонов региональной сети аккредитованных калибровочных лабораторий на национальном метрологическом уровне.

Материальным хранителем единицы давления является первичный и вторичный эталоны давления. Для широкого диапазона измерений давлений 100 кПа – 100 МПа как эталоны применяются газовые грузопоршневые манометры. Для гармонизации измерения давления необходимо проводить расчет неопределенности эталонов.

В настоящее время на Украине отсутствует нормативная документация, регламентирующая расчет неопределенности грузопоршневых манометров. В

соответствии с ЕА-4/17 «Calibration of Pressure Balances» показаны влияющие факторы на результат измерения. Однако на Украине не существует единой концепции учета влияющих факторов на результат измерения давления с помощью грузопоршневого манометра.

Весь процесс оценивания измеряемой величины и неопределенности может быть представлен в виде 8-ми этапов [1]:

1. Описание измерения и составление его модели.
2. Оценивание значений и стандартных неопределенностей входных величин.
3. Анализ корреляций.
4. Составление бюджета неопределенности.
5. Расчет оценки выходной величины.
6. Расчет стандартной неопределенности выход-

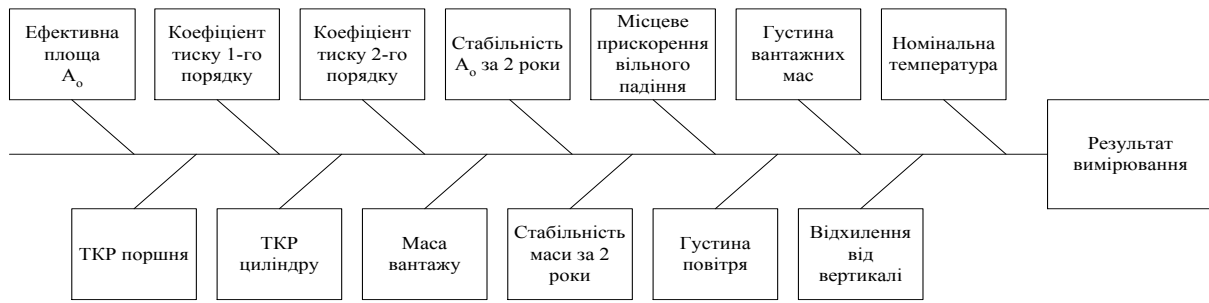


Рис. 1. Диаграмма Ишикавы

ной величини.

7. Расчет расширенной неопределенности.

8. Представление конечного результата измерения.

Расчет неопределенности грузопоршневого манометра при измерении избыточного давления описывается основным уравнением, имеющим следующий вид [2]:

$$p_e = \frac{\sum m_i g (1 - \rho_a / \rho_{mi})}{A_p [1 + (\alpha_p + \alpha_c) \times (t - t_r)]}$$

где  $p_e$  – избыточное давление, измеренное внизу поршня;  $m_i$  – индивидуальное значение массы каждого груза, устанавливаемое на поршне, включая все плавающие элементы;  $g$  – местное ускорение свободного падения;  $\rho_a$  – плотность воздуха;  $\rho_{mi}$  – плотность каждого груза;  $A_p$  – эффективная площадь блока поршень-цилиндр при нормальных условиях;  $\alpha_p$  – линейный коэффициент теплового расширения поршня;  $\alpha_c$  – линейный коэффициент теплового расширения цилиндра;  $t$  – измеренная температура блока поршень-цилиндр во время измерения.

В зависимости от типа блока поршень-цилиндр и диапазона давления, эффективная площадь блока цилиндра  $A_p$  может быть выражена:

– как константа  $A_0$ , которая равна среднему значению всех измерений;

– эффективной площадью при нулевом давлении  $A_0$  с учетом коэффициента искажения давления первого порядка

$$A_p = A_0(1 + \lambda \cdot p)$$

где  $p$  – приблизительное значение измеренного давления  $p_e$ , им может быть номинальное значение;  $\lambda$  – коэффициент искажения давления;

– эффективной площадью при нулевом давлении  $A_0$  с учетом коэффициента искажения давления второго порядка

$$A_p = A_0(1 + \lambda \cdot p + \lambda \cdot p^2).$$

В качестве среды, создающей давление, используется газ – чистый азот или сухой чистый воздух с содержанием  $CO_2$  не более 5 ppm.

Анализируя составленную модель измерения, выявим следующие факторы, влияющие на результат измерения и вносящие неопределенность:

1) элементы рабочей поверхности: эффективная площадь; ТКР поршня; ТКР цилиндра; коэффициент

искажения давления первого порядка; коэффициент искажения давления второго порядка; стабильность эффективной площади за 2 года;

2) элементы силы: масса грузов; масса поршня; стабильность массы грузов за 2 года; местное ускорение свободного падения; плотность воздуха; плотность поршня; плотность грузов; отклонение от вертикали поршня;

3) системные элементы: номинальная температура; плотность носителя; положение равновесия; опорное (эталонное) давление.

Оценка неопределенности будет состоять из следующих составляющих:

- 1) неопределенность массы;
- 2) неопределенность измерения эффективной площади;
- 3) неопределенность из-за коэффициента искажения;
- 4) неопределенность местной гравитации;
- 5) неопределенность из-за температуры;
- 6) неопределенность из-за выталкивающего свойства воздуха;
- 7) неопределенность из-за основной поправки;
- 8) неопределенность из-за наклона;
- 9) неопределенность из-за скорости вращения или направления вращения
- 10) неопределенность остаточного давления (при абсолютном режиме).

Расширенная неопределенность рассчитывается, когда оценена стандартная неопределенность каждого компонента.

Оценка основывается на процедуре измерения данных включенных в сертификаты калибровки и условиях окружающей среды.

Оценку неопределенности получают путем вычисления создаваемого давления, используя значения эффективной площади при нулевом давлении и коэффициента искажения давления, взятым из свидетельства калибровки.

Факторы, влияющие на результат измерения, изобразим с помощью диаграммы Ишикавы (рис. 1).

Данные, приведенные в свидетельствах калибровки грузопоршневого манометра – значения эффективной площади, коэффициент искажения давления блока поршень-цилиндр и индивидуальное значение

массы каждого груза. Сертификаты калибровки также содержат информацию о соответствующих расширенных неопределенностях каждого параметра.

Оценка по типу А стандартной неопределенности в данной работе не ведется [3].

Оценка неопределенности по типу В стандартной неопределенности проводится в следующем порядке:

а) оценивается неопределенность  $U(X_i)$  каждого влияющего компонента. Для влияющих величин, оценка неопределенности производится по границам варьирования;

б) определяется стандартная неопределенность  $u_i(X_i)$  по распределению вероятности каждого компонента;

с) определяется стандартная неопределенность  $u_i(p)$  из-за величины  $X_i$  используя коэффициент чувствительности, который рассчитан как частная производная функции относительно величины  $X_i$ .

Процедура расчета стандартной, расширенной неопределенности проводится на основании РМГ 43-2001 Применение "Руководства по выражению неопределенности измерений" или ЕА-4/02 «Выражение неопределенности измерений при калибровке».

В данной работе проведен анализ влияющих факторов на результат измерения избыточного давления с помощью грузопоршневого манометра с газовой смазкой.

Дальнейшее исследование этой темы должно быть направлено на более тщательное изучение наиболее влияющих факторов, а так же создание нормативных документов, регламентирующих единый подход расчета неопределенности грузопоршневых манометров.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Проненко С.В.* Оценка неопределенности – основа прослеживаемости измерений // Научно-технічний семінар «Основні принципи та методи забезпечення єдності та точності вимірювань». – К.: Укрметртестстандарт, 2005.

2. ЕА-4/17. Calibration of Pressure Balances – Edition July 1997.

3. ЕА-4/02. Выражение неопределенности измерения при калибровке.

*Поступила 24.03.2006*

**Рецензент:** канд. техн. наук И.П. Захаров, Харьковский национальный университет внутренних дел.