ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА АБСОЛЮТНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ЭЛЕКТРОННОГО УРОВНЯ МОДЕЛИ М-050-03

DETERMINATION OF ABSOLUTE ERROR OF M-050-03 ELECTRONIC LEVEL

УДК 621.923; ВАК 05.11.01; DOI: 10.22184/1993-8578.2018.81.2.138.142

С.Степанов^{1,2}, С.Тарасов^{1,2}, А.Петров^{1,2}, С.Степанов^{1,2} / stepanov56@mail.ru
S.Stepanov^{1,2}, S.Tarasov^{1,2}, A.Petrov^{1,2}, S.Stepanov^{1,2}

Разработана методика калибровки для определения фактической погрешности электронных уровней. Установлено, что электронные уровни модели М-050-03 могут быть использованы в локальной схеме как эталоны 1-го разряда.

A calibration technique has been developed to determine the actual error of electronic levels. It is determined that the M-050-03 electronic level can be used in the local scheme as standard of the 1st category.

Инженерно-метрологический центр "МИКРО" выпускает электронный уровень модели М-050-03, который соответствует уровням 2-го разряда согласно "Государственной поверочной схеме для средств измерений отклонений от прямолинейности и плоскостности". Этим уровнем нельзя поверять плиты поверочные гранитные классов 0 и 00, а также линейки с широкой рабочей поверхностью из твердокаменных пород класса точности 0, у которых допуск плоскостности не превышает 2,5 мкм, так как его минимальная погрешность составляет 2 мкм/м. Эта характеристика уровня подтверждается при его ежегодной поверке.

Фактическая погрешность уровня может быть определена при его калибровке. Все ведущие мировые производители средств для линейно-угловых измерений поставляют свои приборы с калибровочным сертификатом, в котором указана их фактическая погрешность и рассчитана неопределенность измерений при использовании.

В 2014 году был принят ГОСТ Р 8.879-2014. "Методика калибровки средств измерений", который введен в действие с 9 января 2015 года, а в 2017 году ВНИИМС разработал методические указания по внедрению ГОСТ Р 8.879-2014. "ГСИ. Методики калибровки средств измерений. Основные требования

к содержанию и изложению", поэтому калибровка и определение предела абсолютной погрешности уровня с расчетом неопределенности измерения стала еще более актуальной.

Разработанная методика калибровки распространяется на уровни электронные М-050 модификации М-050-01/02/03 (далее – "уровни") и устанавливает порядок проведения калибровки с целью подтверждения их соответствия рабочему эталону 1-го разряда согласно ГОСТ 8.420-2002. "Государственная поверочная схема для средств измерений отклонений от прямолинейности и плоскостности".

Все подготовительные операции и требования к средствам калибровки изложены в методике калибровки. Основными показателями при калибровке, на основании которых можно сделать вывод о возможности применения уровня для поверки плит и линеек класса 0 и 00, то есть его признания соответствующим эталону 1-го разряда, являются предел абсолютной погрешности δ при прямом и обратном ходе, а также значение неопределенности.

Диапазон измерения уровня М-050 составляет ± 1500 мкм/м. Обеспечить абсолютную погрешность 1,5 мкм/м на всем диапазоне измерения, как этого требует поверочная схема, невозможно,

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого / Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University.

² ИМЦ "Микро" / Mikro engineering and metrology center.

поэтому мы ограничимся диапазоном ± 100 мкм/м, которого вполне достаточно, чтобы обеспечить измерение отклонений от плоскостности указанных плит и линеек.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА АБСОЛЮТНОЙ ПОГРЕШНОСТИ УРОВНЯ ПРИ ПРЯМОМ И ОБРАТНОМ ХОДЕ

При проведении калибровки используем экзаменатор 1-го разряда, который выставляем в среднее положение в соответствии с эксплуатационной документацией на него. Калибруемый уровень устанавливаем на столе экзаменатора в продольном направлении до продольного и поперечного упоров. С помощью уровня выставляем стол экзаменатора в горизонт и обнуляем показания уровня и экзаменатора. Далее выполняем следующие шаги:

- поворачиваем стол экзаменатора на 5 мкм/м от нулевого положения в положительном направлении и снимаем показания с электронного блока БИН 2И уровня;
- до показаний экзаменатора 20 мкм/м снимаем показания с электронного блока через каждые 5 мкм/м;
- далее – до показаний экзаменатора 60 мкм/м – через каждые 10 мкм/м;
- далее – до показаний экзаменатора 100 мкм/м – через каждые 20 мкм/м;

Электронные уровни модели М-050-03
M-050-03 electronic levels

- переходим показание 100 мкм/м приблизительно на 20 мкм/м и возвращаемся к отметке 100 мкм/м с другой стороны, после чего снимаем показания на блоке БИН 2И. Далее проходим до нуля с обратной стороны в тех же точках диапазона, что и при прямом ходе;
- повторяем вышеизложенное в отрицательном диапазоне до -100 мкм/м.

Погрешностью уровня в контрольных точках диапазона является разность показаний

The Mikro engineering and metrology center produces the M-050-03 electronic level, which corresponds to the levels of the 2nd category according to the "State verification scheme for measuring devices for deviations from straightness and flatness". This level can not be verified with granite testing plates of grades 0 and 00, as well as rulers with a wide working surface of hard rock of accuracy class 0 for which the flatness tolerance does not exceed $2.5 \mu\text{m}$, since its minimum error is $2 \mu\text{m}/\text{m}$. This characteristic of the level is confirmed by its annual verification.

The actual level error can be determined by calibrating it. All the world's leading manufacturers

of linear angle measuring instruments supply their instruments with a calibration certificate, indicating their actual error and calculating the uncertainty of measurements during use.

In 2014, GOST R 8.879-2014 "Calibration techniques of measuring instruments" was adopted, which was enacted from 09.01.2015, and in 2017, VNIIMS developed guidelines for the implementation of GOST R 8.879-2014 "State system for ensuring the uniformity of measurements. Calibration techniques of measuring instruments. General requirements to the contents and statement", so the calibration and determination of the absolute error of the level with the calculation

of the measurement uncertainty became even more urgent.

The developed calibration procedure extends to the M-050 electronic levels of the modifications M-050-01/02/03 (hereinafter referred to as "levels") and establishes the procedure for calibrating in order to confirm their compliance with the working standard of the 1st category in accordance with GOST 8.420-2002 "State verification schedule for means of measuring straightness and flatness deviation".

All preparatory operations and requirements for calibration tools are described in the calibration procedure. The main indicators in the calibration, on the basis of which it can be concluded that

уровня и экзаменатора. Определение погрешности уровня в контрольных точках диапазона при прямом и обратном ходе выполняем пять раз при условии повторяемости и рассчитываем среднее значение. За предел абсолютной погрешности δ принимаем алгебраическую разность наибольшего и наименьшего средних значений погрешностей в контрольных точках.

Предел абсолютной погрешности δ не должен превышать 1,5 мкм/м.

Результаты проведенной калибровки:

- абсолютная погрешность уровня А $\delta=0,63$ мкм/м;
- абсолютная погрешность уровня В $\delta=0,97$ мкм/м.

ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

Суммарную стандартную неопределенность измерения абсолютной погрешности уровня вычисляем по формуле:

$$u_c = \sqrt{u_a(\bar{X}_i)^2 + u_{Re}^2 + u_{Ra}^2 + u_{cal}^2},$$

где: $u_a(\bar{X}_i)^2$ – стандартная неопределенность (типа А) среднего значения абсолютной погрешности, мкм/м, $u_a(\bar{X}_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i-1)} \sum_{q=1}^{n_i} (X_{iq} - \bar{X}_i)^2}$;

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{q=1}^{n_i} X_{iq} - \text{среднее арифметическое результатов измерений } i\text{-й входной величины};$$

$\bar{X}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{q=1}^{n_i} X_{iq}$ – среднее арифметическое результатов измерений i -й входной величины;

$u_{Re} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{R_e}{2}$ – стандартная неопределенность (типа В) от дискретности уровня, мкм/м;

$u_{Ra} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{R_a}{2}$ – стандартная неопределенность (типа В) от дискретности экзаменатора, мкм/м;

$u_{cal} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{R_{cal}}{2}$ – стандартная неопределенность (типа В) предела допускаемой абсолютной погрешности экзаменатора, мкм/м.

Расширенную неопределенность абсолютной погрешности уровня вычисляем для каждой контрольной точки его калибровочной характеристики по формуле $U = u_c \cdot k$ с вероятностью 0,95.

При $\bar{X}_{max} = 0,46$ расширенная неопределенность уровня А $\bar{X}_{min} = 0,43$.

При $\bar{X}_{max} = 0,43$ расширенная неопределенность уровня В $\bar{X}_{min} = 0,44$.

ВЫВОДЫ

Калибровка уровня по разработанной методике позволяет определить фактическое значение погрешности электронных уровней в отличие от поверки, которая подтверждает технические характеристики.

Результаты калибровки показали, что данные электронные уровни модели М-050-03 могут быть использованы в локальной схеме как эталоны 1-го разряда. ■

the level can be used to verify the plates and rulers of classes 0 and 00, that is, to recognize it as the appropriate standard of the 1st category, is the limit of the absolute error δ for forward and reverse traces, as well as the value of uncertainty.

The measuring range of the М-050 level is ± 1500 $\mu\text{m/m}$. It is not possible to provide an absolute error of 1.5 $\mu\text{m/m}$ over the entire measurement range, as required by the calibration scheme, so we confine ourselves to a range of ± 100 $\mu\text{m/m}$, which is sufficient to provide a measurement of the flatness deviations of the mentioned plates and rulers.

DETERMINATION OF ABSOLUTE ERROR LIMIT OF LEVEL FOR FORWARD AND REVERSE TRACES

During the calibration we use the examiner of the 1st category, which is set to the middle position in accordance with the operational documentation for it. The calibrated level is set on the examiner's table in the longitudinal direction to the longitudinal and transverse stops. With the help of the level, we set the examiner's table in the horizon and reset the level and examiner's readings. Then we perform the following steps:

- turn the examiner's table 5 $\mu\text{m/m}$ from the zero position

in the positive direction and take the reading from the electronic unit БИН 2И of the level;

- before the testimony of 20 $\mu\text{m/m}$, take the reading from the electronic unit every 5 $\mu\text{m/m}$;
- further – up to the testimony of 60 $\mu\text{m/m}$ – every 10 $\mu\text{m/m}$;
- further – up to the testimony of 100 $\mu\text{m/m}$ – every 20 $\mu\text{m/m}$;
- we pass the reading of 100 $\mu\text{m/m}$ on approximately 20 $\mu\text{m/m}$ and return to the mark of 100 $\mu\text{m/m}$ on the other side, after which we take the reading on the БИН 2И unit. Then we pass to zero from the reverse side in the

same points of the range as in the forward trace;

- repeat the above in the negative range to $-100 \mu\text{m/m}$.

The level error in the control points of the range is the difference between the readings of level and examiner. The determination of the level error at the reference points of the range in forward and reverse traces is performed five times with the condition of repeatability, after which the average value should be calculated. As the limit of the absolute error δ , we take the algebraic difference between the largest and smallest mean errors at control points.

The limit of absolute error δ should not exceed $1.5 \mu\text{m/m}$.

Results of the calibration:

- absolute error of the level A – $\delta = 0.63 \mu\text{m/m}$;
- absolute error of the level B – $\delta = 0.97 \mu\text{m/m}$.

ESTIMATION OF UNCERTAINTIES

The total standard uncertainty of measurement of the absolute error of the level is calculated by the formula:

$$u_c = \sqrt{u_a(\bar{X}_i)^2 + u_{Re}^2 + u_{Ra}^2 + u_{cal}^2},$$

where: $u_a(\bar{X}_i)$ is standard uncertainty (type A) of the mean absolute error, $\mu\text{m/m}$,

$$u_a(\bar{X}_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i-1)} \sum_{q=1}^{n_i} (X_{iq} - \bar{X}_i)^2};$$

$\bar{X}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{q=1}^{n_i} X_{iq}$ is arithmetic mean of the results of measurements of the i -th input value;

$u_{Re} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{R_e}{2}$ is standard uncertainty (type B) from level discreteness, $\mu\text{m/m}$;

$u_{Ra} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{R_a}{2}$ is standard uncertainty (type B) from examiner discreteness, $\mu\text{m/m}$;

$u_{cal} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{R_{cal}}{2}$ is standard uncertainty (type B) of the limit of the admitted absolute error of the examiner, $\mu\text{m/m}$.

The expanded uncertainty of the absolute error of the level is calculated for each control point of its calibration characteristic by the formula $U = u_c \cdot k$ with a probability of 0.95.

For $\bar{X}_{max} = 0.46$, the extended uncertainty of the level A $\bar{X}_{min} = 0.43$.

For $\bar{X}_{max} = 0.43$, the extended uncertainty of the level B $\bar{X}_{min} = 0.44$.

CONCLUSION

Level calibration by the developed technique allows to determine the actual value of the error of electronic levels, in contrast to verification, which confirms the technical characteristics.

The calibration results showed that these M-050-03 electronic levels can be used in the local scheme as standards of the 1st category. ■

СИЛЬНО РАСХОДЯЩЕЕСЯ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ МОЖЕТ САМОФОКУСИРОВАТЬСЯ В ВОДЕ

В рамках гранта Президентской программы исследовательских проектов, реализуемой Российским научным фондом (РНФ), ученые физического факультета МГУ под руководством Федора Потемкина исследуют новые подходы к использованию лазерного излучения в медицинских и научных целях. Лазерное излучение может оказывать силовое воздействие на кристаллы, полупроводники, комбинированные среды, а также на биологические объекты, например, на человеческий глаз.

В своей работе ученые решили исследовать феномен филаментации – самофокусировки сильно расходящегося лазерного пучка в воде, как в прототипе стекловидного тела глаза. Обычно филаментация наблюдается при больших энергиях импульсов (порядка миллиджоулей) в слабофокусированных пучках. Потемкин с коллегами задался целью изучить возможность филаментации в острогофокусированных лазерных пучках при энергиях в микроджоули.

В эксперименте ученые светили сфокусированным лазерным пучком в прозрачный плоский сосуд с дистиллированной водой. Перемещая сосуд, они заставляли лазерный луч фокусироваться либо в 0,5 мм над поверхностью воды, либо в ее толще, в 0,5 мм от поверхности. При помощи спектральной аппаратуры в обоих случаях изучался процесс филаментации лазерного пучка при его распространении в воде. О наличии филаментации можно

было судить по уширению частотного спектра прошедшего через сосуд излучения. Эксперимент показал, что управлять филаментацией можно, изменяя расстояние от точки фокуса до поверхности воды.

В экспериментальной работе принимали участие студенты МГУ, а с теоретическим описанием зарегистрированного явления помогали коллеги из Франции.

В будущем можно ожидать использование полученного эффекта при создании коммерческих лазеров ультракороткой длительности, перестраиваемых по длине волны от видимого до среднего ИК-диапазона. Управление филаментацией лазерного излучения может найти применение в лабораторной спектроскопии, когда ученым требуется исследовать колебательный спектр различных материалов, в том числе белков. Подстраиваясь под резонансные частоты таких молекул, они могут исследовать их свойства во времени с фемтосекундной длительностью и с микронным пространственным разрешением. Наконец, локализованное воздействие на определенном расстоянии от границы среды с возможностью подбора оптимальных параметров излучения и диагностики в режиме реального времени найдет применение в офтальмологии, для которой изначально и проводились эти исследования.

МГУ имени М.В.Ломоносова