

## ИЗМЕРЕНИЕ БОЛЬШИХ ДИАМЕТРОВ КОСВЕННЫМИ МЕТОДАМИ ИЗМЕРЕНИЯ. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

С.А. Слинкин

Рассматривается один из косвенных методов измерения больших диаметров на примере колеса колесной пары. Предлагается способ увеличения чувствительности преобразователя и проводится сравнительный анализ нескольких методов.

*Ключевые слова:* колесная пара, диаметр, косвенные методы измерения, средства измерения.

Низкое качество ремонта и быстрое изнашивание элементов подвижного состава железнодорожного транспорта напрямую связано с измерениями. В настоящее время при измерении диаметров применяются методы и средства измерения, не отвечающие заданным требованиям.

В большинстве применяемых измерительных приборов для контроля геометрических размеров колесных пар в качестве измерительных преобразователей, хранящих единицу длины применены шкальные преобразователи с ценой деления 1 мм. По-существу, все эти приборы являются измерительными линейками, которые с помощью измерительных наконечников превращены в специальные штангенциркули. При наличии на преобразователе нониуса, позволяющего отсчитывать десятые доли цены деления, инструментальная погрешность шкального преобразователя считается равной 0,1 мм, а без нониуса – равна 0,5 мм.

Допускаемая погрешность измерения не должна превышать 30 % от допуска измеряемой величины [1]. Следовательно, при измерении прибором без нониуса, т. е. с инструментальной погрешностью 0,5 мм, допуск измеряемой величины не может быть менее 1,5 мм.

Однако погрешность измерения определяется не только инструментальной, но и методической погрешностью, причем составляющих методической погрешности значительно больше. В результате действия этих методических погрешностей суммарная погрешность измерения может превышать инструментальную погрешность в несколько раз.

Появление современных трехточечных средств измерений с цифровым отсчетом частично решает проблему повышения точности измерений.

Трехточечное средство измерения (рис. 1) предназначено для измерения диаметров кругов катания колес вагонных и локомотивных колесных пар при их осмотре и освидетельствовании.

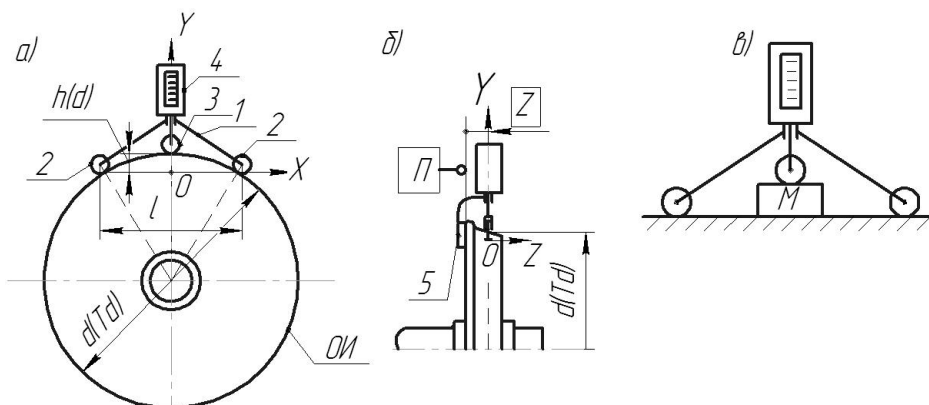


Рис. 1. Схема измерения: а – схема измерения прибором диаметра круга катания колеса косвенным методом (фронтальная проекция); б – то же (профильная проекция); в – схема калибровки прибора с помощью концевых мер длины; ОИ – объект измерения – колесная пара; М – мера; OXYZ – система координат прибора;  $d(Td)$  – диаметр круга катания и его допуск;  $h(d)$  – измеряемая высота стрелы сегмента;  $l$  – расстояние между осями роликов по оси X; П – измерительная база; 1 – трехточечное средство измерения; 2 – опорные ролики; 3 – измерительный ролик; 4 – цифровой преобразователь; 5 – осевые упоры средства измерения

Принцип действия прибора основан на косвенном методе измерения диаметра по высоте стрелы сегмента на постоянной хорде трехточечным способом. Настройка скобы производится по набору мер. Результат измерения диаметра определяется по калибровочной характеристике и цифровому отсчету.

Средство измерения состоит из двух преобразователей: первичного трехточечного роликового преобразователя I и вторичного измерительного цифрового преобразователя 4 (рис. 1, а). Первичный преобразователь преобразует входной сигнал – диаметр  $d$  круга катания колеса – в выходной сигнал  $h$  – высоту стрелы сегмента колеса, а вторичный преобразователь преобразует высоту  $h$  в измерительную цифровую информацию об измеренном значении диаметра  $d$  круга катания колеса.

Калибровка градуировочной характеристики прибора производится с помощью концевых мер длины (рис. 1, в). При калибровке устанавливается зависимость показаний цифрового измерительного преобразователя от измеряемых диаметров  $d$  по соответствующим им расчетным значениям высот  $h_n$  стрел сегментов, материализуемых размерами блоков концевых мер длины.

Расчетная функция преобразования первичного трехточечного роликового преобразователя (рис. 2) характеризуется значительной нелинейностью. Задача состоит в уменьшении нелинейности трехточечного роликового преобразователя.

Для увеличения точности и уменьшения нелинейности средства измерения необходимо увеличить чувствительность первичного преобразователя, так как от него зависят показания вторичного преобразователя. Абсолютная инструментальная погрешность равна

$$\Delta_{\text{ин}} = \Delta_I + \Delta_{II}/S_I, \quad (1)$$

где  $\Delta_I$  – погрешность по входу первичного преобразователя I (трехточечного роликового преобразователя);  $\Delta_{II}$  – погрешность по входу вторичного преобразователя II (цифрового измерительного преобразователя);  $S_I$  – чувствительность первичного преобразователя.

Для увеличения чувствительности необходимо перейти к схеме преобразования с постоянной высотой  $h$  стрелы сегмента. Диаметр в данном случае определяется по величине параллельной хорды  $l$ .

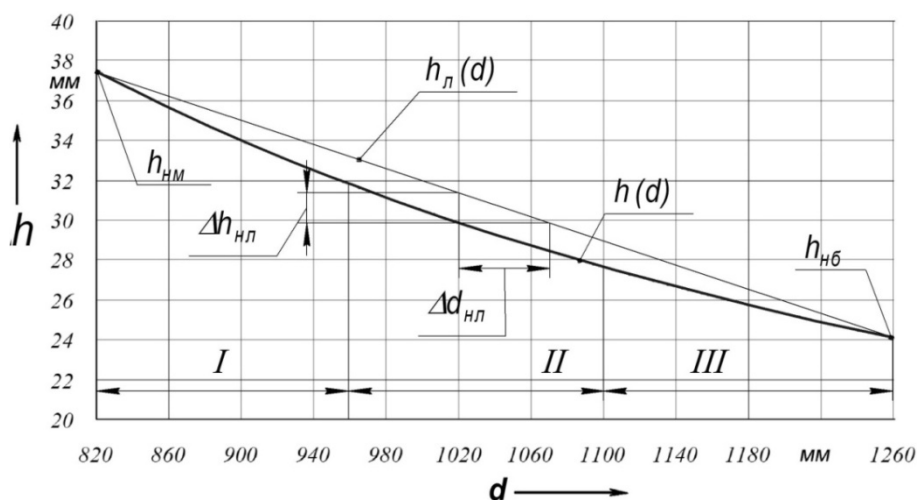


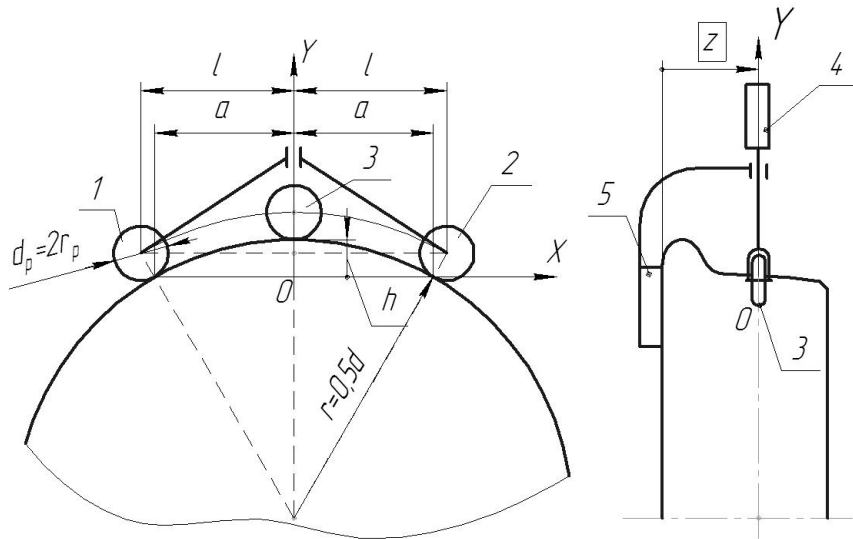
Рис. 2. Функция преобразования первичного трехточечного роликового преобразователя  $h(d)$

Сравним два варианта измерения диаметра круга катания колеса колесной пары по величине стрелы сегмента (при постоянной хорде сегмента) и при постоянной высоте сегмента (определение диаметра параллельной хорде). Для примера рассмотрим только максимальный и минимальный диаметры колес колесной пары железнодорожного подвижного состава (820 мм и 1250 мм) [2–5].

Примем постоянные величины для всех вариантов (рис. 3):

- при измерении диаметра высота сегмента постоянна  $h = 30$  мм;
- при измерении диаметра хорда постоянна  $2a = 350$  мм.

Влияние роликов трехточечного средства измерения на результат измерения рассматриваться не будет.



**Рис. 3.** Схема измерения сегмента колеса колесной пары: *OXYZ* – система координат первичного преобразователя; *d* – диаметр круга катания колеса; *h* – высота стрелы сегмента круга; *d<sub>p</sub>* и *r<sub>p</sub>* – диаметр и радиус роликов; *2l* – расстояние между осями опорных роликов; *2a* – расстояние между точками контакта роликов 1, 2 – опорные ролики; 3 – измерительный ролик; 4 – цифровой преобразователь; 5 – осевые упоры

Искомая величина определяется по функции преобразования:

– при постоянной хорде

$$h = f(d) = r - \sqrt{r^2 - a^2} \quad \text{или} \quad h = 0,5d - \sqrt{0,25d^2 - a^2}, \quad (1)$$

где *a* – половина длины хорды, совпадающей с осью *X* преобразователя, проходящей через точки контакта круга катания колеса с опорными роликами;

– при постоянном сегменте

$$a = f(d) = \sqrt{2rh - h^2} \quad \text{или} \quad a = \sqrt{dh - h^2}. \quad (2)$$

Производная от функции преобразования – чувствительность преобразователя при постоянной хорде:

$$S_h = h'(d) = 0,5d - \sqrt{0,25d^2 - a^2} = d/4 \sqrt{0,25d^2 - a^2}.$$

Диапазон изменения чувствительности для максимального и минимального рассматриваемых диаметров [6–8]:

$$(0,02 \leq S_h \leq 0,053) \text{ мм/мм}.$$

Чувствительность преобразователя в пределах диапазона измерения непостоянна и изменяется практически в 2,5 раза.

Чувствительность преобразователя при постоянном сегменте [9]:

$$S_a = a'(d) = \sqrt{dh - h^2} = h/2 \sqrt{dh - h^2}.$$

Диапазон изменения чувствительности:

$$(0,08 \leq S_a \leq 0,1) \text{ мм/мм}.$$

Чувствительность преобразователя в пределах диапазона измерения также непостоянна, однако изменяется значительно меньше.

Как видно из расчетов, чувствительность при схеме преобразования с постоянной высотой стрелы сегмента больше схемы преобразования с постоянной хордой в два раза. Следовательно, погрешность измерения и погрешность калибровки по входу преобразователя также уменьшится на величину чувствительности.

Таким образом, изменив схему преобразования трехточечного средства измерения, можно значительно повысить его точность.

---

### Литература

1. ГОСТ 8.051–81. Государственная система обеспечения единства измерений. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 12 с.
2. ГОСТ 24642–81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 68 с.
3. ГОСТ 24643–81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 14 с.
4. ГОСТ 25346–89. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 68 с.
5. ГОСТ 25347–89. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 53 с.
6. РД 32 ЦВ 058-97. Методика выполнения измерений при освидетельствовании колесных пар вагонов колеи 1520 мм.
7. ЦВ/3429. Инструкция по осмотру, освидетельствованию, ремонту и формированию вагонных колесных пар.
8. ЦТ/329. Инструкция по формированию, ремонту и содержанию колесных пар тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм.
9. Глухов В.И. Расчет погрешностей цифрового прибора для измерения больших диаметров колес косвенным методом: учеб. пособие / В.И. Глухов, С.А. Слинкин. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2008. – 76 с.

**Слинкин Сергей Александрович**, ведущий инженер ОАО «Научно-исследовательский институт технологии, контроля и диагностики железнодорожного транспорта» (ОАО «НИИТКД») (г. Омск); SlinkinSA@niitkd.ru.

*Поступила в редакцию 18 декабря 2013 г.*

---

**Bulletin of the South Ural State University**  
**Series “Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics”**  
**2014, vol. 14, no. 2, pp. 111–115**

---

## MEASUREMENT OF LARGE DIAMETERS BY INDIRECT METHODS. MEASUREMENT TOOLS DEVELOPMENT PROSPECTS

**S.A. Slinkin**, Scientific and Research Institute of Technology, Control and Diagnosis of Railway Transport, Omsk, Russian Federation, SlinkinSA@niitkd.ru

In the article one of indirect methods of large diameters measuring for the example of wheelset is considered. A method of increasing the sensitivity of the transducer is provided and a comparative analysis of the both methods was done.

*Keywords: wheelset, diameter, indirect measurements, measurement tools.*

### References

1. GOST 8.051–81. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmereniy. Pogreshnosti, dopuskaemye pri izmerenii lineynykh razmerov do 500 mm [State System for Ensuring the Uniformity of Measurements. Error Allowed when Measuring Linear Sizes up to 500 mm]. Moscow, Publ. House of Standards, 1982. 12 p.
2. GOST 24642–81. Osnovnyye normy vzaimozamenyaemosti. Dopuski, formy i raspolozheniya povrekhnostey. Osnovnyue terminy i opredeleniya [Basic Norms of Interchangeability. Tolerances of Form and Position. Basic Terms and Definitions]. Moscow, Publ. House of Standards, 1992. 68 p.

3. GOST 24643–81. *Osnovnye normy vzaimozamenyaemosti. Dopuski, formy i raspolozheniya povrekhnostey. Chislovye znacheniya* [Basic Norms of Interchangeability. Approvals of Form and Position. Numeric Values]. Moscow, Publ. House of Standards, 1981. 14 p.

4. GOST 25346–89. *Osnovnye normy vzaimozamenyaemosti. Edinaya sistema dopuskov i posadok. Polya dopuskov i rekomendyemye posadki* [Basic Norms of Interchangeability. Unified System of Tolerances and Fits. General Provisions, Series of Tolerances and Fundamental Deviations]. Moscow, Publ. House of Standards, 1989. 68 p.

5. GOST 25347–89. *Osnovnye normy vzaimozamenyaemosti. Edinaya sistema dopuskov i posadok. Polya dopuskov i rekomendyemye posadki* [Basic Norms of Interchangeability. Unified System of Tolerances and Fits. Tolerances and Recommended Fit]. Moscow, Publ. House of Standards, 1989. 53 p.

6. RD 32 CV 058-97. *Metodika vypolneniya izmerenii pri osvidetel'stvovanii kolesnykh par vagonov* [Methods of Measurement on the Inspection of Railcars Wheel Pairs Gauge of 1520 mm].

7. CV/3429. *Instruktsiya po osmotru, osvidetel'stvovaniyu, remontu i formirovaniyu vagonnykh kolesnykh par* [Instructions for inspection, repair and formation of wagon wheelsets]. 1977.

8. CT/329. *Instruktsiya po formirovaniyu, remontu i sodержaniyu kolesnykh par tyagovogo podvizhnogo sostava zheleznykh dorog kolen 1520 mm* [Instructions for the Formation and Repair of Rolling Stock Wheel Pairs Gauge of 1520 mm].

9. Glukhov V.I., Slinkin S.A. *Raschet pogresnostey tsifrovogo pribora dlya izmereniya bol'shykh diametrov koles kosvennym metodom* [Digital Device Errors Calculation for Wheels Large Diameter Measuring by Indirect Method: Tutorial]. Omsk, Omsk State Technical University Publ., 2008. 76 p.

**Received 18 December 2013**