

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

---

УТВЕРЖДАЮ  
Зам. директора по УР ЮТИ ТПУ

\_\_\_\_\_ В.Л. Бибик  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015 г.

## **КОНТРОЛЬ ШАГА ЗАЦЕПЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС**

Методические указания к выполнению лабораторных работ  
по дисциплине «Технические измерения в машиностроении» для студентов  
обучающихся по направлению 15.03.01 «Машиностроение»

*Составители* **К.В. Зайцев, В.С. Люкшин**

Издательство  
Юргинского технологического института (филиала)  
Томского политехнического университета  
2015

УДК 621.9.02  
ББК 34.4  
ИЗ7

**Контроль шага зацепления зубчатых колес:** методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Технические измерения в машиностроении» для студентов, обучающихся по направлению 15.03.01 «Машиностроение», всех форм обучения / Сост. К.В. Зайцев, В.С. Люкшин. - Юрга: Издательство Юргинского технологического института (филиала) Томского политехнического университета, 2015. - 12 с.

**УДК 621.9.02**  
**ББК 34.4**

Методические указания рассмотрены и рекомендованы  
к изданию методическим семинаром кафедры  
ТМС ЮТИ ТПУ  
« 14 » апреля 2015 г.

Зав. кафедрой ТМС  
кандидат технических наук,  
доцент

\_\_\_\_\_ *А.А. Моховиков*

Председатель  
учебно-методической комиссии

\_\_\_\_\_ *Н.А. Сапрыкина*

*Рецензент*

Кандидат технических наук, доцент КузГТУ  
*Д.Б. Шатъко*

© Составление. ФГАОУ ВО НИ ТПУ Юргинский  
технологический институт (филиал), 2015  
© Зайцев К.В., Люкшин В.С., составление, 2015

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является ознакомление с основными положениями стандарта на допуски зубчатых колес, изучение методики измерения шага зацепления и контроля разности шагов зубчатых колес, ознакомление со способами и приборами, применяемыми для измерения.

## 2. ЗАДАЧИ РАБОТЫ

- 2.1. Измерить шаг зацепления зубчатого колеса.
- 2.2. Измерить разность окружных шагов зубчатого колеса.
- 2.3. Определить накопленную погрешность шага зубчатого колеса.

## 3. УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Необходимыми условиями проведения и выполнения лабораторной работы должны быть: самостоятельная подготовка студентов к выполнению лабораторной работы; студент должен ознакомиться с настоящими методическими указаниями, усвоить теоретические сведения, изучить положение об охране труда согласно п. 9 и подготовить бланк отчета согласно п. 6 настоящих методических указаний, активно выполнять лабораторную работу. В начале занятия преподаватель выполняет контроль степени подготовленности каждого студента к выполнению работы. Студенты, уровень подготовленности которых не соответствует вышеизложенным требованиям, к выполнению работы не допускаются.

После оформления бланка отчета преподаватель должен выдать задание в виде цилиндрического зубчатого колеса студенту или группе студентов.

## 4. ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Комплексным показателем для оценки кинематической точности зубчатого колеса является накопленная погрешность шага по зубчатому колесу  $F_{pr}$  или по  $k$  шагов  $F_{pkr}$ .

Шаг зацепления – это расстояние между одноименными соседними эвольвентами, измеренное по дуге основной окружности или любой касательной к основной окружности.

Накопленная погрешность шага зубчатого колеса  $F_{pr}$  – наибольшая алгебраическая разность значений накопленных погрешностей в пределах зубчатого колеса. По существу, это наибольшая погрешность во взаимном расположении двух любых одноименных профилей зубьев по одной окружности колеса или на заданной ее части в  $k$  угловых шагов,

проходящей по середине высоты зуба, с центром на рабочей оси колеса в сечении, перпендикулярном его оси.

Представление о показателе дает рассмотрение условной схемы (рис. 1).

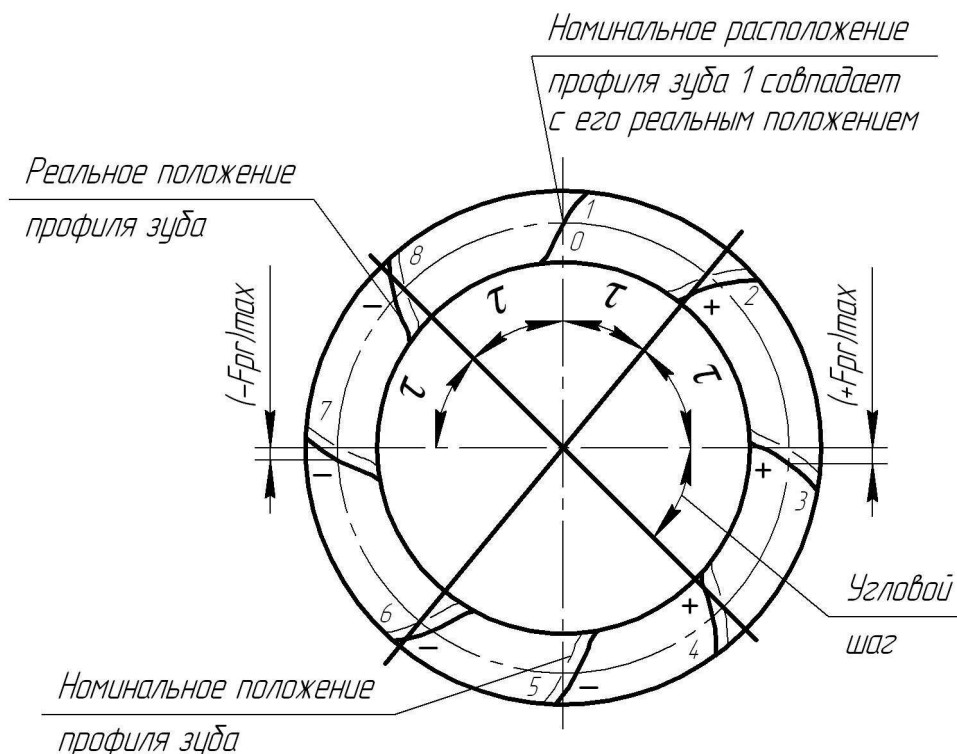


Рис. 1. Накопленная погрешность шага  $F_{pr}$

Теневая проекция зубчатого венца проверяемого колеса наложена на выполненный в заданном масштабе геометрически правильный чертеж того же венца (штриховой профиль). После совмещения бокового профиля одного из зубьев (условно – первого) с соответствующим теоретическим профилем обнаруживается, что профили остальных зубьев колеса в той или иной степени не доходят (отрицательные погрешности) или переходят (положительные погрешности) за свои номинальные контуры. Ошибки отдельных шагов могут быть и незначительными, когда их измеряют между двумя соседними зубьями колеса. Но относительно номинального положения профиля зуба они постепенно суммируются, достигая на каком-то зубе (третий зуб) наибольшего отрицательного значения. Алгебраическая разность наибольших накопленных погрешностей составляет накопленную погрешность шага зубчатого колеса  $F_{pr}$ , ограниченную допуском  $F_p$ .

Вместо  $F_{pr}$  можно контролировать накопленную погрешность на  $k$  шагах  $F_{pkr}$  (рис. 2).

Накопленная погрешность  $k$  шагов  $F_{pkr}$  – наибольшая разность дискретных значений кинематической погрешности зубчатого колеса при номинальном его повороте на  $k$  целых угловых шагов

$$F_{pkr} = \left( \varphi_r - k \frac{2\pi}{z} \right) \cdot r, \quad (1)$$

где  $\varphi_r$  – действительный угол поворота зубчатого колеса;

$z$  – число зубьев зубчатого колеса;

$k \frac{2\pi}{z}$  – номинальный угол поворота колеса;

$k$  – число целых угловых шагов ( $k \geq 2$ );

$r$  – радиус делительной окружности зубчатого колеса.

Допуск на накопленную погрешность  $k$  шагов обозначают  $F_{pk}$ .

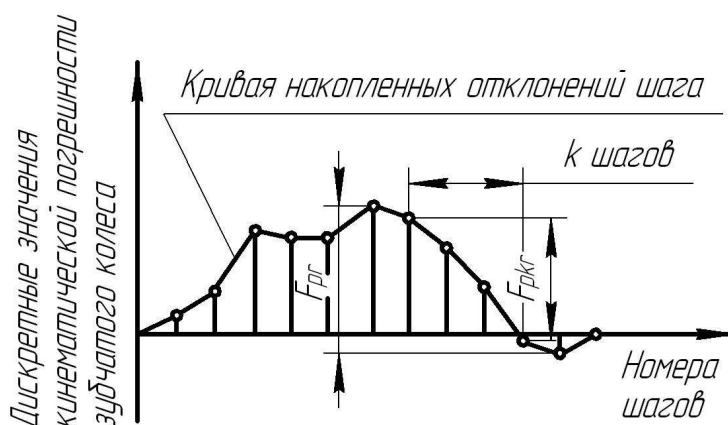


Рис. 2. Накопленная погрешность шага  $F_{pkr}$  на  $k$  шагах зубчатого колеса

Если кинематическая погрешность является непрерывной функцией погрешности угла поворота ведомого зубчатого колеса за полный оборот, то показатели накопленной погрешности  $F_{pr}$  и  $F_{pkr}$ , являясь дискретными значениями кинематической погрешности, выявляют, лишь часть этой погрешности и на 15–20 % меньше полной кинематической погрешности зубчатого колеса.

## 5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 5.1. Ознакомиться с условиями проведения работы по п.3.
- 5.3. Оформить отчет по лабораторной работе по п.6.
- 5.4. Получить задание у преподавателя.
- 5.5. Произвести измерение шага зацепления и разности окружных шагов зубчатого колеса по п.7.
- 5.6. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы по работе по п.8.

5.7. Ознакомиться с вопросами для самоконтроля п.11 и проверить свои знания.

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет оформляется индивидуально для каждого студента на двойном тетрадном листе. При необходимости вкладываются дополнительные листы.

6.1. Титульный лист.

6.2. Цель, задачи работы, материальное оснащение.

6.3. Теоретическая часть по п.4.

6.4. Таблицы с результатами измерений (Прил., табл. 2 и 3).

6.5. Выводы и обобщения по работе.

## 7. ИЗМЕРЕНИЕ ШАГА ЗАЦЕПЛЕНИЯ

7.1. По чертежу детали или согласно маркировке на торцевой поверхности зубчатого колеса определяется модуль  $m$  и угол профиля исходного контура  $\alpha_d$ .

7.2. Перед началом измерения шагомер настраивается на номинальный размер основного шага по специальному приспособлению (рис. 3), состоящему из подставки **1**, струбцины **4** для зажима блока концевых мер, размером, равным номинальному значению основного шага и боковиков **2** и **3**. С помощью отвертки к измерительному рычагу прикрепить винтами наконечник. Ползун микровинтом передвинуть до упора в направлении плавающего наконечника.

7.3. В пазу ползуна закрепить отверткой головку для контроля шага зацепления, при этом в случае контроля колес с модулем от 2 до 10 мм, установочный наконечник должен находиться от измерительного наконечника на расстоянии 5 мм. Если предполагается измерение колес с модулем 10 мм и более, то предварительное расстояние между наконечниками должно быть равным 50 мм.

7.4. Далее производится окончательная настройка шагомера. Для этого набирается блок концевых мер, равный номинальному значению основного шага. Размер шага определяется из таблицы (прил., табл. 1) или рассчитывается по формуле:

$$t_0 = \pi \cdot m_n \cdot \cos \alpha_{dn}, \quad (2)$$

где  $m_n$  – нормальный модуль;

$\alpha_{dn}$  – угол исходного контура в нормальном сечении.

7.5. К набранному блоку концевых мер с обеих сторон притираются Т - образный и вильчатый боковички. Концевые меры вместе с притертыми боковичками зажимаются в струбцине **4**. При этом необходимо

чтобы опорный наконечник лег на скос упора, а установленный наконечник имел надежный контакт с вильчатым боковиком. Винтом подачи ползуна стрелки устанавливаются приблизительно на нуль, и ползун закрепляется стопорным винтом. Микровинтом тонкой настройки стрелки окончательно устанавливаются на нуль.

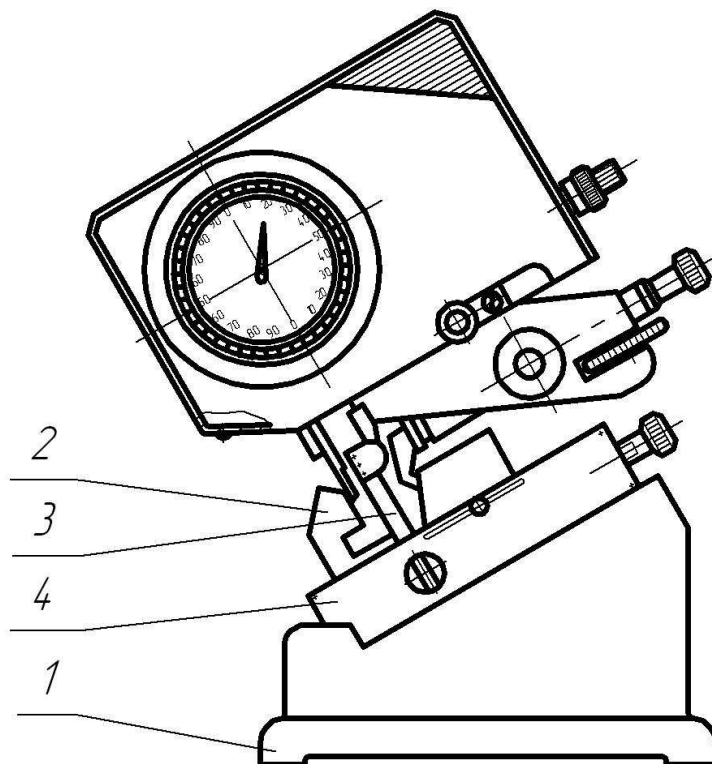


Рис. 3. Настройка шагомера в приспособлении

7.6. Измерение шага зацепления осуществляется по касательной к основной окружности установочным наконечником 4 и измерительным наконечником 3. Базирование шагомера по впадине зуба колеса производится установочным наконечником 4 и опоры 5, которые в паре имитируют зуб рейки. Перемещение измерительного наконечника, вызываемое колебанием размера шага зацепления, фиксируется отсчетным устройством. Покачивая шагомер в диаметральной плоскости, определяют максимальное отклонение стрелки индикатора (рис. 4). По показаниям прибора судят об отклонении шага зацепления от номинального значения. Результаты измерения заносятся в таблицу (прил., табл. 2).

7.7. При настройке шагомера для измерения разности окружных шагов зубчатого колеса к измерительному рычагу винтами прикрепляется точечный наконечник (рис. 5). Головка закрепляется винтами. Предварительное расстояние между наконечниками должно быть таким же, как и при установке шага зацепления.

7.8. В Т-образных пазах головки предварительно закрепляются базировочные упоры требуемой конструкции. Вынув крышку 2, винтом закрепляется державка переднего упора. При базировании по торцу колеса, в отверстиях головки и державки закрепляются торцевые упоры.

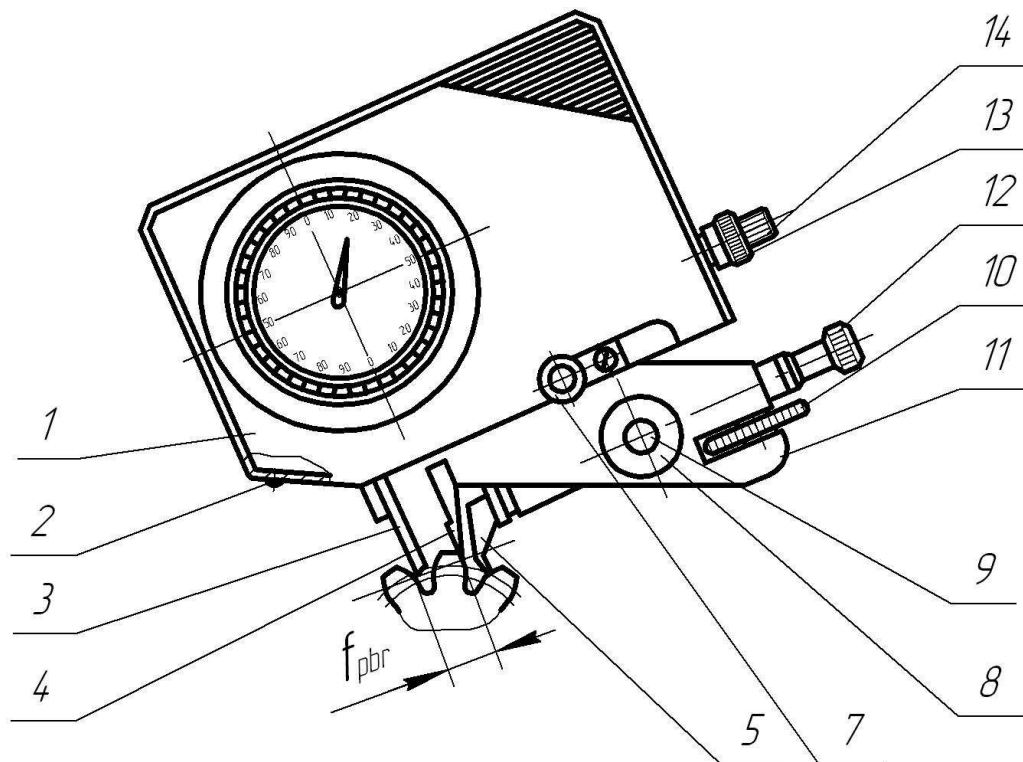


Рис. 4. Контроль шага зацепления.

7.9. Винтом подачи ползуна устанавливается расстояние между измерительными поверхностями, приблизительно равное размеру окружного шага. В головке имеются два продольных Т-образных паза, где винтами 2 укрепляются сменные упоры 4 для базирования прибора на проверяемом колесе. В передней части прибора устанавливается державка 7 с регулируемым передним упором 8. Головка 1 и державка 7 имеют отверстия, где винтом 6 закрепляются регулируемые торцевые упоры 3, предназначенные для базирования прибора, по торцам измеряемого косозубого червячного или конического колеса. Торцевые упоры обеспечивают смещение плоскости измерения вдоль зуба колеса. Контроль разности окружных шагов производится установочным и измерительным наконечниками. Шагомер базируется на окружности выступов или впадин двумя упорами 4 и регулируемым упором 8. Колебания измерительного наконечника соответствующие изменениям окружного шага фиксируются отсчетным устройством и заносятся в таблицу (прил., табл. 3).



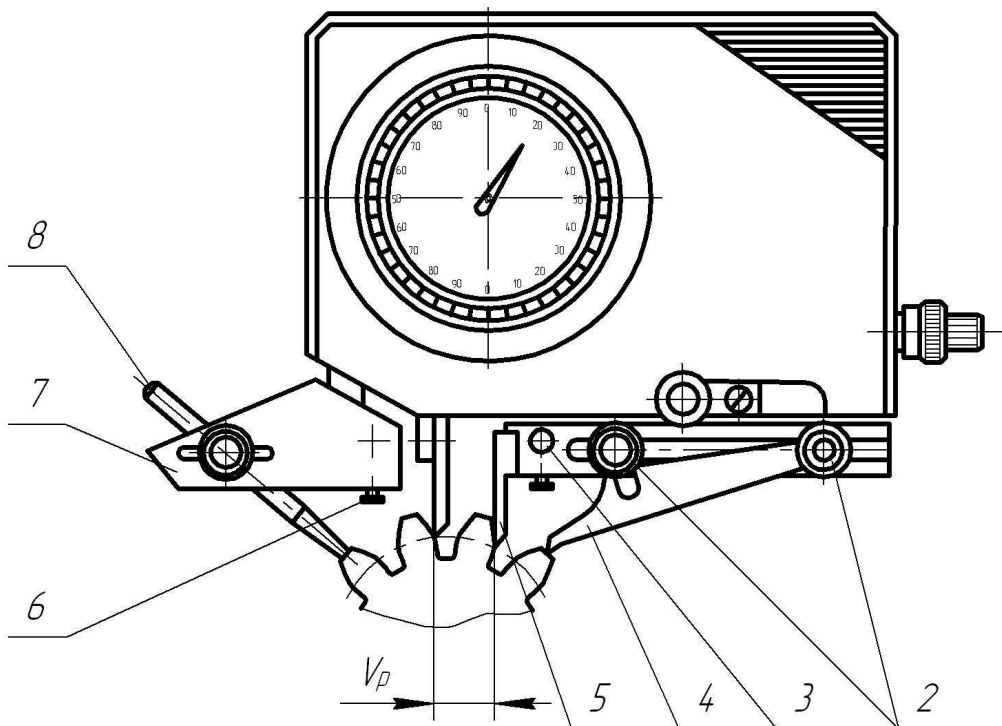


Рис. 5. Контроль разности окружных шагов.

7.10. Для нахождения накопленной погрешности шага подсчитывается алгебраическая сумма всех показаний  $f_{pti}$  и делится на число зубьев

$$f_{pt} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{pti}}{z}. \quad (3)$$

Найденная величина  $f_{pt}$  вычитается из каждого записанного в таблице показания прибора и записывается в таблицу. Они соответствуют величине отклонения каждого шага от среднего. В следующем столбике записываются значения сумм, получаемы при последовательном суммировании величины отклонений каждого шага.

## 8. ТРЕБОВАНИЯ К ОБОБЩЕНИЯМ И ОЦЕНКАМ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАБОТЫ

Результаты проделанной работы записываются в вывод. В выводе необходимо дать обоснование полученным данным при проведении работы.

## 9. ОХРАНА ТРУДА

К выполнению работы допускаются студенты, прошедшие инструктаж по охране труда. При выполнении лабораторной работы студенты обязаны соблюдать общие правила техники безопасности при работе

в лаборатории, поддерживать порядок и дисциплину. Лабораторная работа должна выполняться под присмотром преподавателя.

## **10. МАТЕРИАЛЬНОЕ ОСНАЩЕНИЕ**

В качестве объекта исследования используются цилиндрические зубчатые колеса.

Измерение шага зацепления и разности окружных шагов зубчатого колеса производится шагомером БВ-5070.

## **11. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что называется шагом зацепления?
2. Что называется накопленной погрешностью шага?
3. На что влияет накопленная погрешность шага?
4. Назначение шагомера.
5. Порядок настройки шагомера на номинальный размер основного шага.
6. Устройство и принцип действия шагомера.

## **12. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Якушев, А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: учебник для вузов 6-е изд., перераб. и доп. / А. И. Якушев, Л. Н. Воронцов, Н. М. Федотов. – Москва: Машиностроение, 1987. – 352 с.
2. Допуски и посадки: справочник в 2-х ч. / под ред. В. Д. Мягкова. – Ленинград: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1978. – 1032 с.
3. ГОСТ 1643-81. Передатки зубчатые цилиндрические.
4. Муслина, Г. Р. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. пособие по дисциплине и курсовой работе / Г. Р. Муслина, Ю. М. Правиков / под общ. ред. Л. В. Худобина. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 132 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

*Шаг зацепления*

<b>m</b> , мм	<b>2</b>	<b>2,25</b>	<b>2,5</b>	<b>2,75</b>	<b>3</b>	<b>3,5</b>	<b>4</b>	<b>4,5</b>	<b>5</b>
<b>t<sub>0</sub></b> , мм	5,904	6,642	7,380	8,118	8,856	10,332	11,809	13,285	14,761
<b>m</b> , мм	<b>5,5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>
<b>t<sub>0</sub></b> , мм	16,237	17,713	20,665	23,617	26,569	29,521	32,473	35,425	38,378
<b>m</b> , мм	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>22</b>	<b>25</b>	<b>28</b>	
<b>t<sub>0</sub></b> , мм	41,330	44,282	47,234	53,139	59,043	64,947	73,804	82,660	

Таблица 2

*Результаты измерения шага зацепления*

Предельное отклонение шага зацепления $f_{pb}$ , мкм			
№ зуба	Левый профиль	№ зуба	Правый профиль
1		1	
2		2	
3		3	
4		4	
5		5	
...		...	

Таблица 3

*Результаты измерения разности окружных шагов зубчатого колеса*

№ шагов	Показания прибора, мкм	Отклонение шага от среднего $f_{pti}$ , мкм	Последовательные суммы $\sum_i^n f_{pti}$ , мкм
1			
2			
3			
4			
5			
...			
$\sum_i^n f_{pti} =$		$F_{pr} =$	

Учебное издание

## **КОНТРОЛЬ ШАГА ЗАЦЕПЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС**

Методические указания к выполнению лабораторных работ  
по дисциплине «Технические измерения в машиностроении» для студентов  
обучающихся по направлению 15.03.01 «Машиностроение»

*Составители*

ЗАЙЦЕВ Константин Викторович  
ЛЮКШИН Владимир Сергеевич

Печатается в редакции составителей

**Отпечатано в Издательстве ЮТИ ТПУ в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати  
Формат 60x84/23 Бумага офсетная.  
Плоская печать. Усл. печ. л. Уч-изд. л.  
Тираж 30 экз. Заказ Цена свободная.  
ИПЛ ЮТИ ТПУ. Ризограф ЮТИ ТПУ.  
652000, г. Юрга, ул. Московская, 17.