

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Детали машин»

Ю. Е. Кирпиченко, Н. В. Акулов

КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по дисциплине «Нормирование точности
и технические измерения» для студентов
машиностроительных специальностей
дневной формы обучения**

Гомель 2009

УДК 681(075.8)
ББК 34.9+30.10я73
К43

*Рекомендовано научно-методическим советом
машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 6 от 25.06.2007 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Технология машиностроения» ГГТУ им. П. О. Сухого
М. П. Кульгейко

Кирпиченко, Ю. Е.
К43 Контроль геометрических параметров зубчатых колес : лаборатор. практикум по дисциплине «Нормирование точности и технические измерения» для студентов машиностр. специальностей / Ю. Е. Кирпиченко, Н. В. Акулов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 20 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Представлена характеристика прибора для контроля основных параметров зубчатых колес и технология работы на нем.

Для студентов машиностроительных специальности дневной формы обучения.

**УДК 681(075.8)
ББК 34.9+30.10я73**

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2009

ВВЕДЕНИЕ

подавляющее большинство механизмов и машин имеют различного рода передачи. Из механических передач, применяемых в машиностроении, наибольшее распространение получили зубчатые, так как они обладают рядом существенных преимуществ перед другими передачами:

- возможность осуществления передачи между параллельными, пересекающимися и скрещивающимися осями, иными словами, при всех видах расположения осей;
- высокая нагрузочная способность и как следствие малые габариты;
- большая долговечность и надежность работы (ресурсы до 30 000 ч и более);
- высокий КПД (до 0.97...0.98 в одной ступени);
- возможность применения в широком диапазоне скоростей (до 150 м/с), мощностей (до десятков тысяч кВт) и передаточных отношений (до нескольких сотен и даже тысяч);
- постоянство передаточного отношения.

В то же время для обеспечения надежной и качественной работы зубчатых передач к ним предъявляются повышенные требования к точности изготовления. Многообразные условия применения зубчатых передач определяют различные требования к их точности.

Для делительных и планетарных передач с несколькими сателлитами основным эксплуатационным показателем является **кинематическая точность**, т. е. точная согласованность углов поворота ведущего и ведомого колес передачи. Кинематическая точность обеспечивается, например, при установке колеса на зубообрабатывающий станок с точной кинематической цепью с минимально возможным радиальным биением.

Для высокоскоростных передач (окружные скорости зубчатых колес могут достигать 60 м/с) основным эксплуатационным показателем является **плавность работы передачи**, характеризующая равномерность хода, т. е. отсутствие циклических погрешностей, многократно повторяющихся за оборот колеса. Нормы плавности работы колеса имеют наибольшее значение, когда предъявляются требования к бесшумной работе передачи отсутствию вибраций, например для автомобильных и тракторных зубчатых колес, входящих в коробку скоростей. Циклическая точность обеспечивается, например, точно-

стью червяка делительной передачи станка и точностью зуборезного инструмента. Плавность передачи значительно повышается после шевингования зубчатых колес или их притирки.

Для тяжелонагруженных тихоходных передач наибольшее значение имеет **полнота контакта поверхностей зубьев**, которая определяет величину и расположение области прилегания боковых поверхностей зубьев сопряженных колес в передаче. Контакт зубьев зависит от торцового биения заготовки и ряда других причин. Контакт зубьев значительно улучшается после притирки зубчатых колес.

Допуски цилиндрических зубчатых передач нормируются ГОСТ 1643—72 и распространяются на эвольвентные цилиндрические зубчатые передачи внешнего и внутреннего зацеплений с прямозубыми, косозубыми и шевронными зубчатыми колесами с делительным диаметром до 6300 мм, шириной венца или полушеврона до 1250 мм, модулем зубьев от 1 до 56 мм.

По точности изготовления все зубчатые колеса разделены на 12 степеней точности, причем числовые значения для допусков 1-й и 2-й степеней точности не регламентируются (предусмотрены для будущего развития).

Нормы степеней точности 3—5 предназначены главным образом для измерительных колес, в зацеплении с которыми контролируются зубчатые колеса. Наиболее широко распространенными являются колеса 6—9-й степеней точности.

Указанные три вида норм могут комбинироваться из разных степеней точности, причем **нормы плавности работы колеса могут назначаться не более чем на две ступени точнее или на одну ступень грубее степени кинематической точности; нормы контакта зубьев могут назначаться по любым степеням более точным, чем нормы плавности**. Так, например, для средне и высокоскоростных передач (например, турбинных) следует назначать степень по нормам плавности на одну выше (точнее), чем степень по нормам кинематической точности.

Выбор наиболее распространенных степеней точности от назначения в зависимости от назначения зубчатых передач можно производить по данным таблицы 1

Таблица 1 – Выбор точности зубчатых колес

Степень точности цилиндрического зубчатого колеса	Область применения	Окружные скорости колес: а) прямозубых б) непрямозубых
5-я (прецизионные)	Зубчатые колеса, предназначенные для передач с прецизионной согласованностью вращения или работающих при высоких скоростях с наибольшей плавностью и бесшумностью. Колеса прецизионных механизмов или высокоскоростных передач (турбинные). Измерительные колеса для контроля колес 8-й и 9-й степеней точности.	а) Свыше 30 м/с б) Свыше 50 м/с
6-я (высокоточные)	Зубчатые колеса, предназначенные для передач с точной согласованностью вращения или работающих при повышенных скоростях и больших нагрузках плавно и бесшумно. Колеса делительных механизмов или скоростных редукторов, ответственные колеса авиа-, авто- и станкостроения.	а) До 15 м/с б) До 30 м/с
7-я (точные)	Зубчатые колеса, работающие при повышенных скоростях и умеренных нагрузках, или, наоборот, колеса подачи в станках, где требуется согласованность движений; колеса редукторов нормального ряда, колеса авиа- и автостроения.	а) До 10 м/с б) До 15 м/с
8-я (средней точности)	Зубчатые колеса общего машиностроения, не требующие особой точности; колеса станков, не входящие в делительные цепи, неответственные шестерни авиа-, авто- и тракторостроения, колеса грузоподъемных механизмов, ответственные шестерни сельскохозяйственных машин.	а) До 6 м/с б) До 10 м/с
9-я (пониженной точности)	Зубчатые колеса, предназначенные для грубой работы, к которым не предъявляются требования средней точности, ненагруженные передачи, выполненные по конструктивным соображениям большими, чем полученные из расчета	а) До 2 м/с б) До 4 м/с

Схема построения системы допусков и посадок цилиндрических зубчатых передач с перечислением нормируемых показателей приведена на рисунке 1.

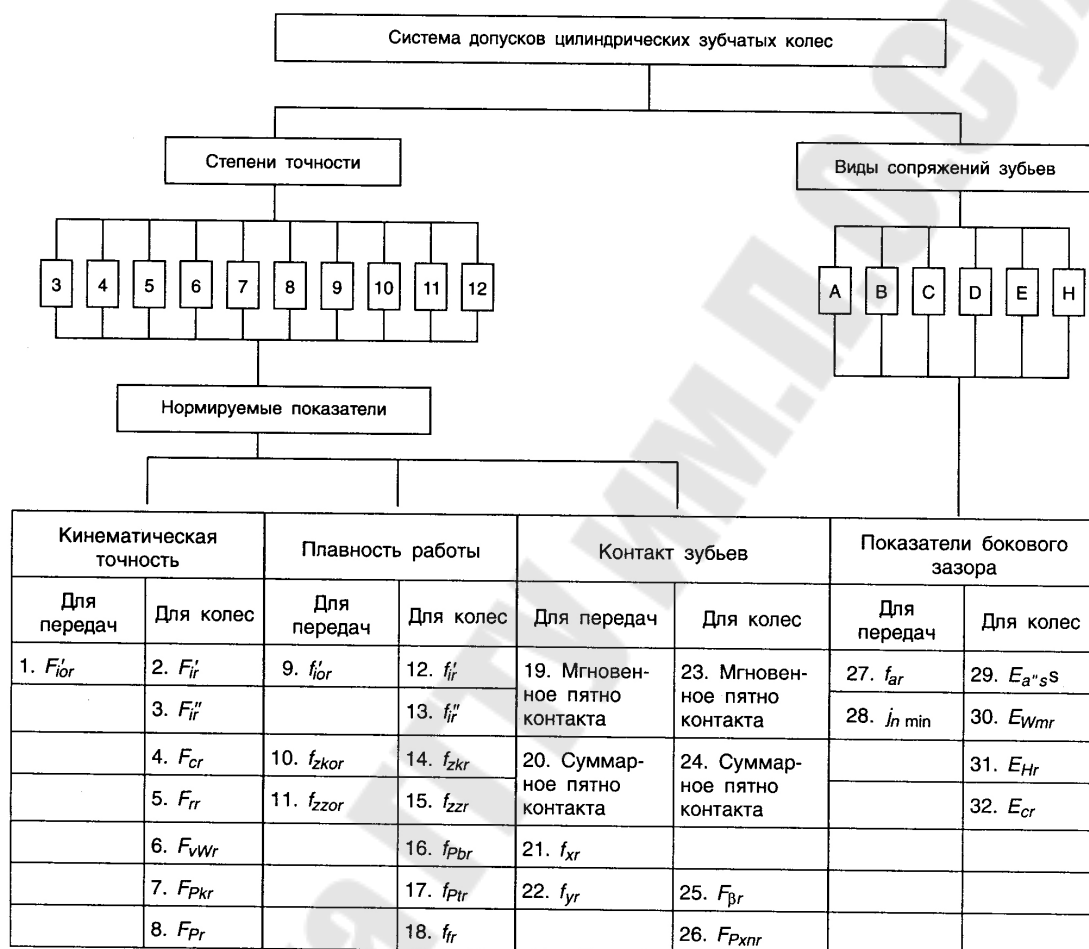


Рисунок 1 - Схема допусков и посадок цилиндрических зубчатых передач:

F'_{ior} - наибольшая кинематическая погрешность передачи,

F'_{ir} - наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса,

F''_{ir} - колебания измерительного межосевого расстояния за один оборот зубчатого колеса,

F_{cr} - погрешность обката,

F_{rr} - радиальное биение зубчатого венца,

F_{vWr} - колебание длины общей нормали,

F_{pkr} - накопленная погрешность k шагов,

F_{Pr} - накопленная погрешность шага зубчатого колеса,

f'_{ior} - местная кинематическая погрешность передачи,

f_{zkr} - циклическая погрешность передачи,
 f_{zkr} - циклическая погрешность зубцовой частоты в передаче,
 f_{ir}' - местная кинематическая погрешность зубчатого колеса,
 f_{ir}'' - колебания измерительного межосевого расстояния на одном зубе,
 f_{zkr} - циклическая погрешность зубчатого колеса,
 f_{zkr} - циклическая погрешность зубцовой частоты зубчатого колеса,
 f_{ptr} - отклонение шага,
 f_{pbr} - отклонение шага зацепления,
 f_{fr} - погрешность профиля зуба,
 f_{xr} - отклонение от параллельности осей,
 f_{yr} - перекос осей,
 $F_{\beta r}$ - погрешность направления зуба,
 F_{pxr} - отклонение осевых шагов по нормали,
 f_{ar} - отклонение межосевого расстояния,
 $j_{n\min}$ - гарантированный боковой зазор,
 $E_{a's}$ - предельные отклонения измерительного межосевого расстояния,
 E_{Hr} - дополнительное смещение исходного контура,
 E_{cr} - отклонение толщины зуба,

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Цель работы: научиться производить контроль основных геометрических параметров цилиндрических зубчатых колес.

1. Общие сведения.

1.1 Проверка основного шага.

Проверка основного шага (рисунок 2) производится путем измерения расстояния между двумя касательными и одноименными профилями зубьев колеса. Измерение осуществляется двумя наконечниками, мерительные плоскости которых параллельны и настраиваются по блоку концевых мер на номинальный размер основного шага. Один из наконечников неподвижен, другой перемещается на плоских пружинах. Изменение колебания основного шага воспринимается подвижным наконечником и передается на отсчетное устройство.

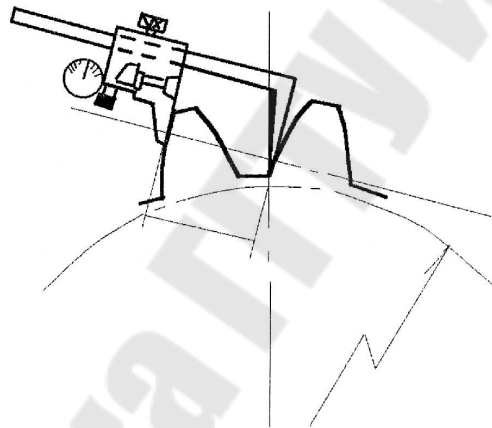


Рисунок 2 – Проверка основного шага

1.2 Проверка окружного шага.

Проверка (рисунок 3) производится путем равенства расстояния между одноименными профилями зубьев колеса по хордам дуг какой-либо окружности. Измерение осуществляется двумя сферическими наконечниками, один из которых неподвижен, а другой перемещается, воздействуя на микрометр. Настройка наконечников ведется по первой паре зубьев проверяемого колеса на произвольном диаметре. Нарушение равномерности окружных шагов воспринимаются подвижным наконечником, и передается на отсчетное устройство.

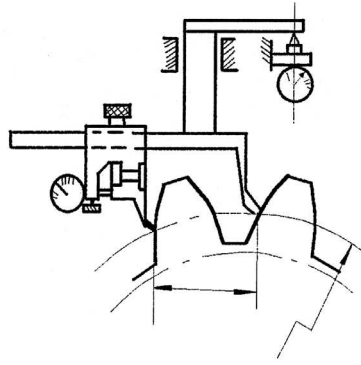


Рисунок 3 – Проверка окружного шага

1.3 Проверка длины общей нормали.

Проверка производится путем измерения расстояния между параллельными касательными к равноименным профилям зубьев колеса (рисунок 4). Измерения осуществляются двумя наконечниками, материальные плоскости которых параллельны, обращены друг к другу и при измерении охватывают равномерные профили по касательным к ним. Наконечники настраиваются на номинальную длину общей нормали по блоку концевых мер. Отклонение от номинала и колебание длин общей нормали воспринимаются подвижным наконечником и передаются на отсчетное устройство.

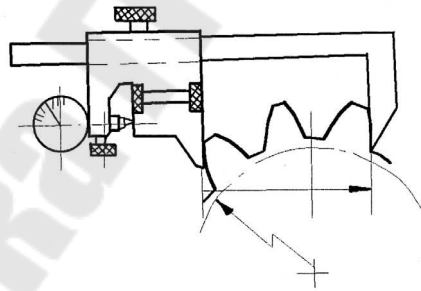


Рисунок 4 – Проверка длины общей нормали

1.4 Проверка направления контактной линии.

Проверка проводится по контактной линии (рисунок 5), при этом определяется общее отклонение направления контактной линии и отклонение ее прямолинейности. Измерение осуществляется тангенциальным мерительным наконечником, которому сообщается перемещение вдоль зуба по направлению, составляющему с осью колеса угла скрещивания, равный угол наклона винтовой линии зуба на основном цилиндре. Отклонения направления контактной линии или от-

ступление от прямолинейности ее воспринимается мерительным наконечником и передается на отсчетное устройство.

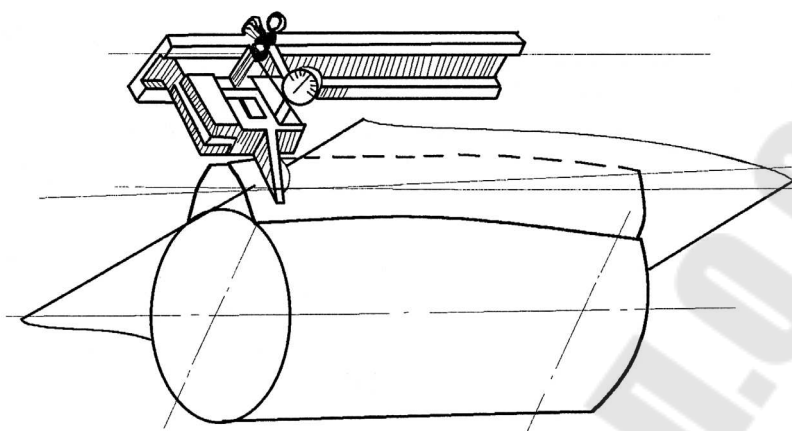


Рисунок 5 – Проверка направления контактной линии

1.5 Проверка направления зуба и радиального биения.

Схема измерения представлена на рисунке 6. Измерительным элементом, при помощи которого производится контроль угла наклона зуба и радиального биения колеса, является специальный трапециевидный наконечник.

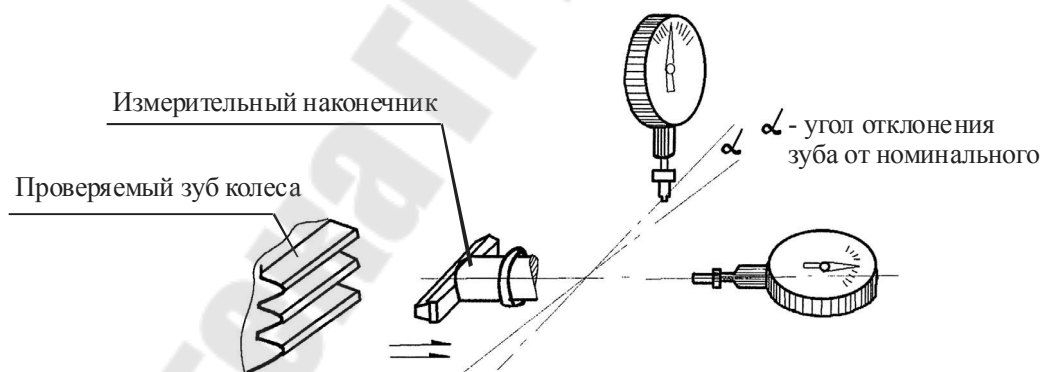


Рисунок 6 – Проверка направления зуба и радиального биения

Измерительный наконечник устанавливается на номинальный угол наклона зуба проверяемого колеса. Данное положение измерительного наконечника фиксируется первым индикатором как нулевое, затем измерительный наконечник вводится во впадину зуба проверяемого колеса, укрепленного на оправке в центрах прибора. Отклонение угла наклона зуба проверяемого колеса от установленного пе-

редается через шпиндель наконечника на первый индикатор и фиксируется им.

Биение профиля зубьев колеса вызовет при последовательном контроле впадин зубьев изменение положения наконечника с кареткой по отношению к оси колеса.

Наклонение положения каретки, а следовательно и биения профиля, фиксируется вторым индикатором.

2. Приборы и материалы.

1. Прибор.
2. Устройство для проверки окружного и основного шага, длины общей нормали колеса.
3. Устройство для проверки направления контактной линии колеса.
4. Наконечники для проверки основного шага и длины общей нормали.
5. Два наконечника для проверки окружного шага.
6. Шесть наконечников для проверки биения (M1,0+1,25; M1,5+2,0; M2,25+3,0; M3,25+4,5; M5,0+6,0; M7,0+10,0).
7. Микрометр с ценой деления 0,001мм (1ИГМ).
8. Индикатор с ценой деления 0,01 мм.

2.1 Техническая характеристика прибора

Диапазон модулей проверяемых колес, мм	3-10
Диаметр проверяемых колес, мм:	
наименьший	40
наибольший	400
Расстояние между центрами, мм:	
наименьшее.....	0
наибольшее.....	300
Угол наклона зубьев, град:	
наименьший.....	0
наибольший.....	45
Цена деления индикатора, мм.....	0,01
Расстояние между центрами, мм.....	0-300
Углы наклона зуба в градусах.....	0-45
Радиус установочного рычага, мм.....	B=50,645

Расстояние от базовой поверхности опорной планки до оси вращения поворотного валика, мм.....	48,51
Диаметр шарика в мм.....	19,86
Расстояние от базовой поверхности опорной планки до образующей поверхности шарика, мм	38,58 A=40,72

2.2 Описание конструкции прибора.

Основанием прибора служит станина 1 (рисунок 7) с Т-образно расположенными клиновидными направляющими. По продольным направляющим перемещаются передняя 2 и задняя 6 бабки. По поперечным направляющим станины перемещается измерительная бабка 14, которая крепится рукояткой 13. В корпусе передней бабки закрепляют центр 4. Центр задней бабки закреплен в пиноли 16. Отвод пиноли и поджим центра к изделию осуществляется рукояткой 18. Возврат пиноли производится пружиной 17, крепление – рукояткой 22. Переднюю и заднюю бабки перемещают вручную по направляющим станины и закрепляют в требуемом положении рукоятки 3.

Измерительная бабка состоит из корпуса 14, по шариковым направляющим которого перпендикулярно к линии центров под действием пружины перемещается каретка 9. Отвод каретки производится от рукоятки 5. В отверстии каретки вращается поворотный валик 23, на одном конце которого закреплен рычаг 10. Поворот валика осуществляется по боку концевых мер, закладываемых между шариком рычага 10 и опорной планкой 11. Валик крепится в определенном положении винтом 8. На другом конце поворотного валика 23 вставляется державка 15, в которой крепится одно из измерительных устройств при помощи рукояток 7 или измерительный наконечник. К каретке прикрепляется планка 20, в винт которой 19 упирается наконечник индикатора, смонтированного на корпусе измерительной бабки.

3 Порядок выполнения работы.

Проверяемое колесо устанавливается в центрах для всех проверок, кроме проверки окружного шага и радиального биения. Шток 23 (рисунок 7) проворачивают на угол по блоку концевых мер, закладываемых между опорной планкой 11 измерительной бабки и шариком поворотного рычага 10 (рисунок 8). Это положение державки фиксируется винтом.

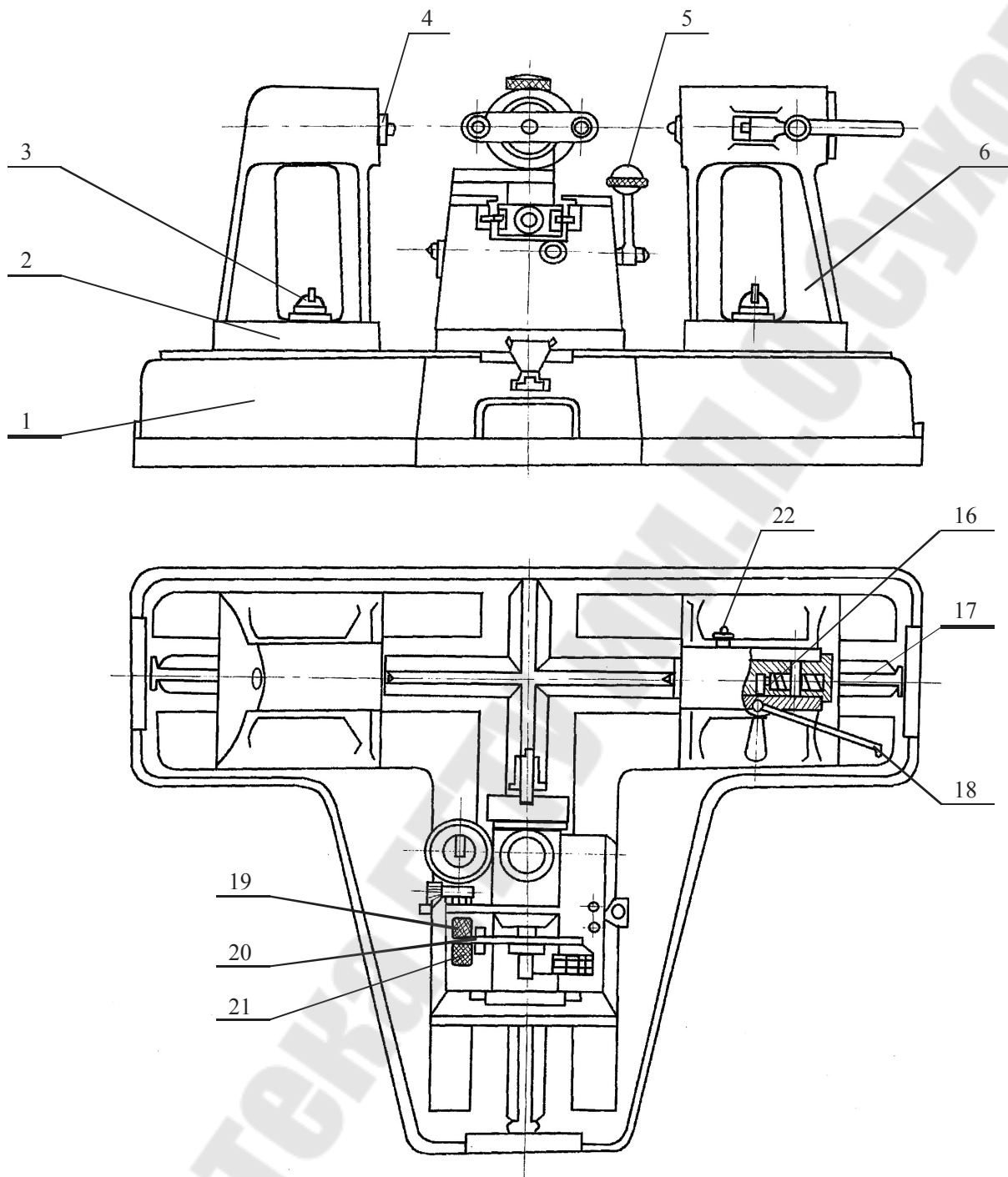
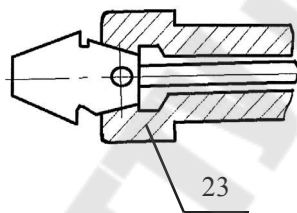
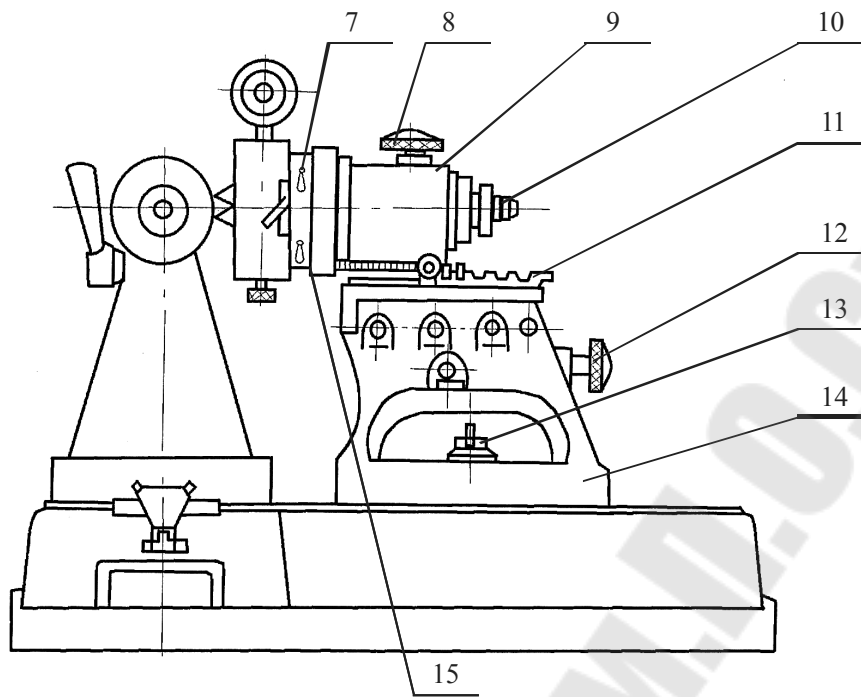


Рисунок 7 Схема прибора



Продолжение рисунка 7

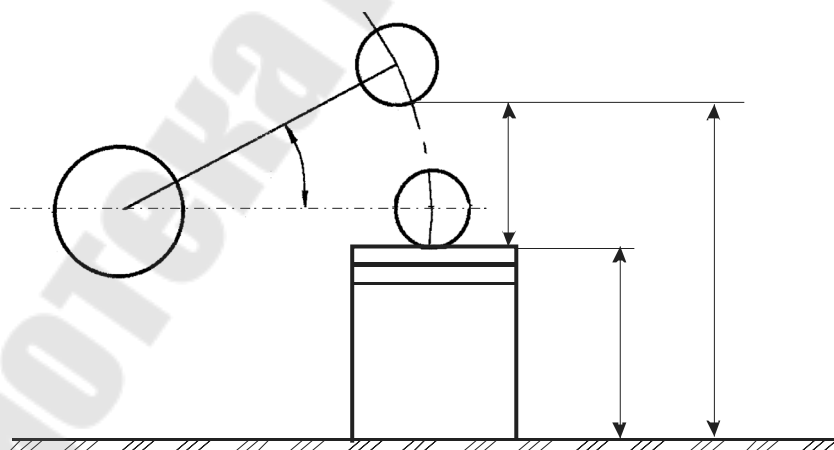


Рисунок 8 – Схема поворотного рычага

При проверке основного шага, направления контактной линии и длины общей нормали величина блока концевых мер X определяется по формуле

$$X = A - B \cdot \sin \beta_0; \quad \sin \beta_0 = \sin \beta_v - \cos \alpha_{он} . \quad (1)$$

При проверке направления зуба – по формуле

$$X = A - B, \quad (2)$$

где A – величина блока концевых мер, соответствующая углу наклона винтовой линии зуба колеса ($\beta = 0$);

B – плечо рычага (берется по аттестату прибора);

β_0 – угол наклона винтовой линии зуба колеса на основном цилиндре;

β_v – угол наклона зубьев на делительном цилиндре;

$\alpha_{он}$ – профильный угол исходной рейки в нормальном сечении.

3.1 Проверка основного шага.

В призмах устройства для проверки основного шага закрепляют измерительные наконечники, соответствующие модулю проверяемого колеса. Наконечники настраивают на номинальный размер основного шага (рисунок 9) по блоку концевых мер, закладываемому непосредственно между наконечниками.

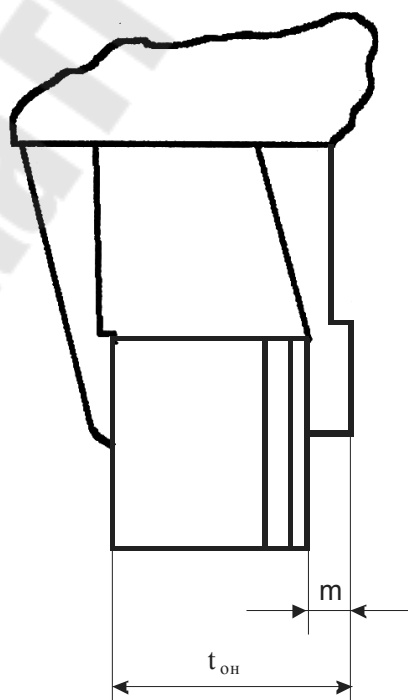


Рисунок 9 – Наконечники с блоком концевых мер

При настройке непосредственно по блоку концевых мер, величина блока определяется по формуле

$$K = t_{он} - m, \quad (3)$$

где m – толщина губки наконечника (маркируется на наконечнике);
 $t_{он}$ – основной шаг в нормальном сечении.

Устройство устанавливается в державке 15 (см. рисунок 7) измерительной бабки 14. Перемещая каретку от рукоятки, вводят наконечники в зацепление с зубьями проверяемого колеса до тех пор, пока материальные плоскости не расположатся по касательным к одноименным профилям. При этом положение каретки фиксируется упором 21, по которому в последующих примерах каретка доводится до первоначального положения. Поворачивая колесо, вводят измерительные наконечники в зацепление с последующими зубьями и по показаниям индикатора отмечают погрешности основного шага.

3.2 Проверка равенности соседних окружных шагов.

В призмах устройства устанавливают измерительные наконечники для проверки окружного шага.

Устройство устанавливают в державке 15 (см. рисунок 7) измерительной бабки. Перемещая каретку до упора 21 от рукоятки 5, вводят наконечники в зацепление с зубьями проверяемого колеса и настраивают их на первой паре зубьев. Индикатору дается натяг, и стрелка его устанавливается на «нуль». Поворачивая колесо и перемещая каретку до упора, измерительные наконечники вводят в зацепление с последующими зубьями и по показаниям индикатора судят о равенности соседних окружных шагов. По отклонению отдельных окружных шагов от величины первого измеренного шага определяем наибольшую ошибку окружного шага t_{max} расчетным путем.

Определение t_{max} сводится к следующему:

1. На приборе определяют относительные отклонения окружных шагов $\delta_1; \delta_2; \dots; \delta_n$ для одноименных профилей зуба.

2. Определяем сумму отклонений для каждого n -го шага, т.е.

- для первого шага $\delta_1 = 0$;
- для второго шага $\delta_1 + \delta_2$;
- для третьего шага $\delta_1 + \delta_2 + \delta_3$;
- для промежуточного n -го шага

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_n = \sum_1^n \delta;$$

– для последнего z -го шага

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_n + \dots + \delta_z = \sum_1^z \delta.$$

3. Определяем для каждого шага величину $\frac{n}{z} \sum_1^z \delta$, для чего полу-

ченную конечную сумму $\sum_1^z \delta$ делим на z , а затем умножаем на $1, 2, 3, \dots, n, \dots, z$ соответственно номеру шага.

4. Определяем для шага накопленную погрешность t_n по формуле

$$t_n = \frac{n}{z} \sum_1^z \delta - \sum_1^n \delta. \quad (4)$$

5. Находим максимальную накопительную погрешность окружного шага как разность между крайними величинами накопление погрешности отдельных шагов. Все результаты сводим в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты замеров

Порядковый номер шагов	Результаты измерения на приборе, мк	$\frac{n}{z} \delta$, мк	$\frac{n}{z} \sum_1^z \delta$, мк	Накопленная погрешность для n -го шага t_n , мк	Предельное отклонение накопительной погрешности

3.3 Проверка длины общей нормали.

В проемах устройства устанавливают измерительные наконечники для проверки длины общей нормали по блоку концевых мер, определяемому по формуле

$$L_n = m_s \cdot \cos \alpha_{os} \cdot \cos \beta_0 \cdot [n \cdot (n - 0,5) + 2\xi_s + \operatorname{tg} \alpha_{os} + z \cdot \operatorname{inv} \alpha_{os}], \quad (5)$$

где m_s – торцовый модуль;

α_{os} – профильный угол исходной рейки в торцовом сечении;

β_0 – угол наклона зубьев на основном цилиндре;

n – число зубьев, охватываемых при измерении;

ξ_s – коэффициент сдвига в торцевом сечении;

z – число зубьев проверяемого колеса.

Перемещая каретку от рукоятки 5 (см. рисунок 7), вводят наконечники в зацепление с зубьями проверяемого колеса до тех пор, пока мерительные плоскости не расположатся по касательным к соответствующим (равномерным) профилям. При этом положении каретка фиксируется упором 21, по которому в последующих промерах каретка доводится до первоначального положения. Погрешности длины общей нормали отмечают по индикатору.

3.4 Проверка направления контактной линии.

Устройство устанавливают в державке 15 (см. рисунок 7) каретки измерительной бабки. Перемещая каретку от рукоятки 6, вводят измерительный наконечник во впадины зубьев колеса на глубину, равную не менее чем $2/3$ высоты зуба. Поворотом проверяемого колеса боковую поверхность зуба вводят в соприкосновение с наконечником, перемещают от маховика вдоль зуба и отмечают показание индикатора. Равномерно увеличивающиеся или уменьшающиеся показания указывают на отклонение зуба колеса от заданного, колебание же стрелки около нулевого положения указывают на непрямолинейность контактной линии.

3.5 Проверка биения.

Для проверки биения подбирают наконечники соответствующего модуля зуба колеса и закрепляют его в державке. Настройка измерительного устройства ведется по первой впадине, и индикатор устанавливается на нуль с натягом. При последовательном введении наконечника во впадине зубьев от рукоятки 5 отнимают по показаниям индикатора величину биения.

4. Содержание отчета о проделанной работе

1. Наименование и цель работы.
2. Общие сведения об основных геометрических параметрах зубчатых колес.
3. Схемы измерений.
4. Таблицы с полученными результатами.
5. Заключение о годности.

5. Контрольные вопросы.

1. Для чего предназначен прибор?
2. Из каких основных узлов состоит измерительный прибор?
3. В чем заключается принцип работы прибора?
4. В чем заключается проверка основного шага?
5. Как определить величину блока концевых мер?
6. В чем заключается проверка равенности соседних окружных шагов?
7. Как определяется наибольшая накопительная ошибка окружного шага?
8. В чем заключается проверка длины общей нормали?
9. В чем заключается проверка направления контактной линии?
10. В чем заключается проверка биения?

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Общие сведения	8
2 Приборы и материалы	11
3 Порядок выполнения работы	12
4 Содержание отчета о проделанной работе	18
5 Контрольные вопросы	19

**Кирпиченко Юрий Ефремович
Акулов Николай Владимирович**

КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

**Лабораторный практикум
по дисциплине «Нормирование точности
и технические измерения» для студентов
машиностроительных специальностей
дневной формы обучения**

Подписано в печать 29.05.09.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 1,17. Уч.-изд. л. 1,12.

Изд. № 150.

E-mail: ic@gstu.gomel.by

<http://www.gstu.gomel.by>

Отпечатано на цифровом дуплекаторе
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.

Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого».

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.