

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕР-  
СИТЕТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРИ НАРЕЗАНИИ  
ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ШЕСТЕРЕН  
НА ЗУБОДОЛБЕЖНЫХ СТАНКАХ**

Лабораторная работа 2И

САМАРА 2006 г.

Составители: Демин Ф.И.

УДК 621.9.62

Определение точности при нарезании зубьев цилиндрических шестерен на зубодолбежных станках: Метод. указания/Сост. Ф.И. Демин; СГАУ, Самара, 2006 - 15 с.

Методические указания содержат краткое изложение теории погрешностей зубообработки. Приводится методика экспериментального определения погрешности расположения делительной окружности колеса.

Указания предназначены для студентов, обучающихся по учебному плану целевой интенсивной подготовки по курсу «Технология двигателей летательных аппаратов» по специальности 13.02, 13.04, 06.08, 12.11.00, 10.12.00.

Рецензенты: К. Ф. Митряев, Д. Д. Папшев

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомление с методикой оценки точности геометрических параметров нарезаемой шестерни.
2. Изучение конструкции зубодолбежного станка, его наладка и особенности настройки станка на размер.
3. Экспериментальная проверка расчетных данных погрешностей обрабатываемой шестерни.
4. Контроль биения делительной окружности шестерни относительно установочной базовой поверхности.
5. Контроль точности выполнения средней длины общей нормали «блочного размера».
6. Закрепление теоретических знаний студентов в области технологии производства деталей авиационных двигателей.
7. Закрепление знаний студентов, полученных в процессе второй производственной практики.

## ИСТОЧНИКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ЗУБООБРАБОТКИ.

Погрешности в протекании кинематического процесса зубообработки сочетаются с неточностями изготовления инструмента и его установки, геометрическими неточностями станка и установки заготовки в технологической системе.

Совокупность этих неточностей порождает погрешности формы и размеров обрабатываемых зубчатых колес. При последующей работе зубчатого колеса в качестве элемента машины эти неточности формы и размеров колес вызывают неравномерность движения, сопровождающуюся возникновением динамических нагрузок и шума при работе передачи; они приводят также к неравномерному распределению нагрузки на боковых поверхностях зубьев.

Отдельные ошибки, возникающие при зубообработке (рис. 1) можно свести к четырем видам:

1. Изменение радиального расстояния между инструментом и обрабатываемым зубчатым колесом – **радиальные ошибки** обкатки.
2. Нарушение обката инструмента и изделия – **тангенциальные ошибки** обработки.
3. Погрешности перемещения инструмента вдоль оси изделия – **осевые ошибки** обработки.
4. Отклонение производящей поверхности зубообрабатывающего инструмента – **ошибки производящей поверхности**.

**Радиальные ошибки (1).** Зубообработки возникают из-за погрешностей базирования заготовки на станке, радиального биения инструмента и периодических колебаний положения шпинделя (качания стола) или инструмента. Для радиальных ошибок обработки характерно, что они остаются постоянными в любом сечении колеса. Радиальные погрешности базирования заготовки на зуборезном станке создают в изделии геометрический

эксцентриситет, который проявляется как погрешность угла профиля зуба на делительной окружности шестерни. зубонарезании возможно появление как чисто радиального биения, так и перекоса оси режущего инструмента относительно геометрической оси вращения оправки. При зубодолблении биение долбяка и его перекося относительно оси вращения ползуна целиком переносятся на изделие и, кроме того, вызывает погрешность в зоне смыкания. Типичный дефект зубодолбленных колес, выражающийся в стуке на одном зубе, является результатом погрешности обработки в зоне смыкания.

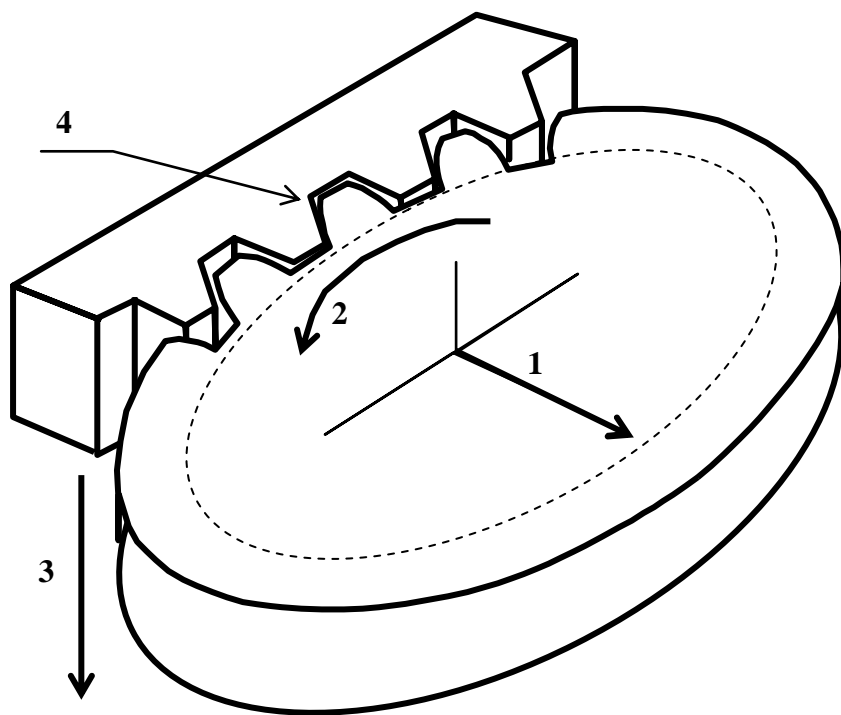


Рис. 1. Четыре вида погрешностей при зубообработке

**Тангенциальные ошибки (2)** возникают в основном из-за нарушения обката инструмента и заготовки. Источником этих погрешностей являются ошибки звеньев кинематической цепи станков. Кинематическая погрешность делительного колеса станка вызывает дополнительный поворот заготовки в процессе формообразования зуба. Погрешность обкатки полностью определяется при тангенциальных измерениях колеса, т. е. при однопрофильном комплексном контроле, при контроле накопленной погрешности окружного шага, а также при проверке колебания длины общей нормали.

**Осевые ошибки (3)** зубообработки возникают в основном из-за неточностей направляющих станка, перекося осей заготовки, а в некоторых случаях – кинематической цепи станка. Эти погрешности вызывают нарушение продольного контакта зубьев. Значительное влияние на нарушение продольного контакта зубьев оказывает торцевое биение базового торца заготовки, что создает перекося оси заготовки относительно зубообработы-

вающего станка. В этом случае при работе колеса пятно контакта будет перемещаться по поверхности зубьев от одного торца к другому.

**Погрешности производящей поверхности (4)** инструмента возникают вследствие применения приближенных методов профилирования инструмента или же погрешностей его изготовления и заточки. Помимо этих погрешностей сюда должны быть отнесены также и неточности колеса, связанные с влиянием прерывистости процесса резания из-за подачи и конечности числа режущих граней инструмента. Всякое отступление формы производящей поверхности инструмента от точной поверхности создает на заготовке погрешность профиля зуба.

В работе исследуются точность расположения делительной окружности и погрешности окружного шага проверкой колебания длины общей нормали (групповой размер).

Нарезание зубчатых колес производится по способу обкатки при помощи инструмента-долбяка (рис.2) Долбяк во время работы получает возвратно-поступательное движение параллельно оси заготовки (движение резания) и одновременно вращается вокруг своей оси (круговая подача). В начале обработки долбяк автоматически перемещается в направлении к оси изделия (радиальная подача) на требуемую высоту зуба. Нарезаемое колесо совершает обкаточное движение.

Возвратно-поступательное движение (движение резания) долбяка осуществляется следующим образом: от электродвигателя мощностью 2,8 квт, при  $n = 1420$  об/мин через клиноременную передачу со шкивами 1 – 11 получает вращение вал III. Переключением рычагов коробки скоростей вводятся в зацепление различные пары зубчатых колес (1 – 5, 2 – 6, 3 – 7, 4 – 8), что дает четыре скорости движения долбяка. Вал 1У приводит в движение рейку 10 с помощью кривошипного устройства с изменяемым радиусом эксцентриситета E. Вращение шестерен II и 13, сидящих на валу У создает возвратно-поступательное движение долбяка VI. В верхней части суппорта находится буферная пружина VII, поглощающая толчки и выбирающая люфты в реечных и шлицевых передачах механизмов главного движения.

Величина хода долбяка должна быть больше высоты заготовки не менее чем на 4 мм. Это условие обеспечивается за счет регулирования радиуса эксцентриситета E (рис.3). Гайка 1 отпускается и производится вращение винта 2 ключом до тех пор, пока стрелка указателя не покажет необходимое деление на шкале.



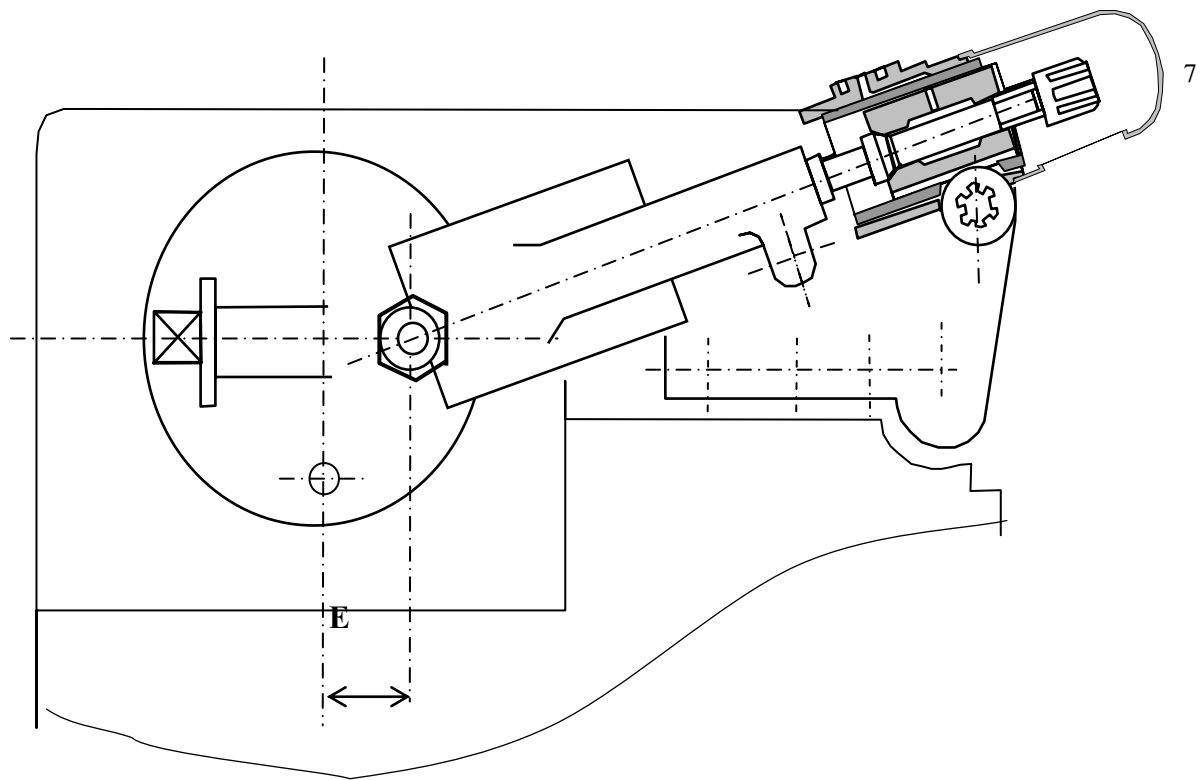


Рис. 3 Регулировка хода долбяка

От вала IV через цепную передачу VIII (звездочки 15 – 16) получает вращение вал IX, на котором находится 3-х заходный червяк 17, зацепляющийся с червячным колесом 18. Вал X через коническую пару 19 – 21 (реверсивный механизм, меняющий направление вращения долбяка) приводит во вращение вал XI и через гитару круговых подач XII вращает вал XIII. Это вращение передается на шпиндель долбяка через червячную пару 22 – 23 и специальные направляющие втулки, установленные внутри делительного червячного колеса. Одна из этих втулок соединена с червячным колесом, а другая со шпинделем. При долблении прямых зубьев обе втулки имеют прямые направляющие, обеспечивающие прямолинейное, возвратно-поступательное движение долбяка. При долблении зубчатых колес с косыми зубьями устанавливаются втулки с винтовыми направляющими. Вследствие этого, при вертикальном ходе долбяк получает дополнительное вращательное движение вокруг своей оси. Долбяк при этом имеет также косые зубья.

Через конические пары 24 – 25, 26 – 27 и гитару деления XIV получает вращение вал XV, который через 1-заходный червя 29 и червячную шестерню 30 приводит в движение стол станка.

Качательное движение стола осуществляется кулачковым механизмом XI1 коробки скоростей, кинематически связанными со столом станка системой рычагов.

Станок имеет автоматическое устройство, которое управляет механизмом врезания зубьев долбяка в тело нарезаемого зубчатого колеса. При достижении требуемой глубины врезания, автоматически включается радиальная подача и включается счетный механизм станка, контролирующей число полных оборотов шпинделя станка. Это число оборотов связано с кулачком XVII, который может быть одно-, двух-, и трех профильным. По-

сле поворота на указанное число оборотов, суппорт автоматически отводится от заготовки и станок останавливается.

Рассмотрим, как это осуществляется: ролик XVIII всегда прижимается к кулачку пружиной. В начале врезания ролик находится во впадине кулачка. При вращении кулачка ролик катится по его возрастающей кривой, перемещая вал XXI, а вместе с ним и суппорт вправо, т. е. врезая долбяк в заготовку. Кулачек получает вращение от вала IX через сменные зубчатые колеса 31 – 32, коническую передачу 33 – 34 и червяк 35, передается червячному колесу 36 с зубчатой муфтой на торце, свободно сидящей на валу XIX.

При включении муфты вправо, вращение передается червячной передаче 37 – 38 и кулачку XVII. Перед началом вращения рычаг, посредством которого перемещается муфта, должен быть переведен в правое крайнее положение под выступ фиксатора. Муфта включена. Одновременно с этим сухарь поднимает собачку 39 и удерживает ее от соприкосновения с храповым колесом 40. Как только кончится врезание, под действием пружины освободится рычаг, включит муфту и освободит собачку 39 храпового механизма, которая упадет под действием собственного веса, и храповое колесо 40 начнет поворачиваться вследствие качательного движения сектора XX, несущего собачку 39. При каждом качении собачки храповое колесо поворачивается на один зуб, и через вал XIX и червячную пару 37 – 38 передает вращение кулачку XVII. Качательное движение сектора XX сообщается от эксцентрика на валу червяка делительной червячной передаче шпинделя стола.

После периода врезания ролик XVIII не будет перемещаться, так как радиус-вектор кривой кулачка останется постоянным, а, следовательно, и стол станка также не будет перемещаться.

По окончании полного цикла обработки ролик XVII снова упадет во впадину кулачка, переместится вместе с суппортом влево и, нажав на концевой выключатель, остановит станок.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ОКРУЖНОСТИ КОЛЕСА.

Суммарная погрешность расположения делительной окружности зубчатого венца колеса относительно базового отверстия шестерни рассчитывается с помощью размерных цепей (рис. 4), в которой замыкающим звеном является искомый векторный параметр.

В общем виде суммарная погрешность расположения делительной окружности имеет вид:

$$\vec{\Delta}_{\Sigma} = \vec{\Delta}_y + \vec{\Delta}_o$$

где:  $\vec{\Delta}_y$  - погрешность установки заготовки на станке;

$\vec{\Delta}_o$  - остаточная погрешность, связанная с методом обработки.



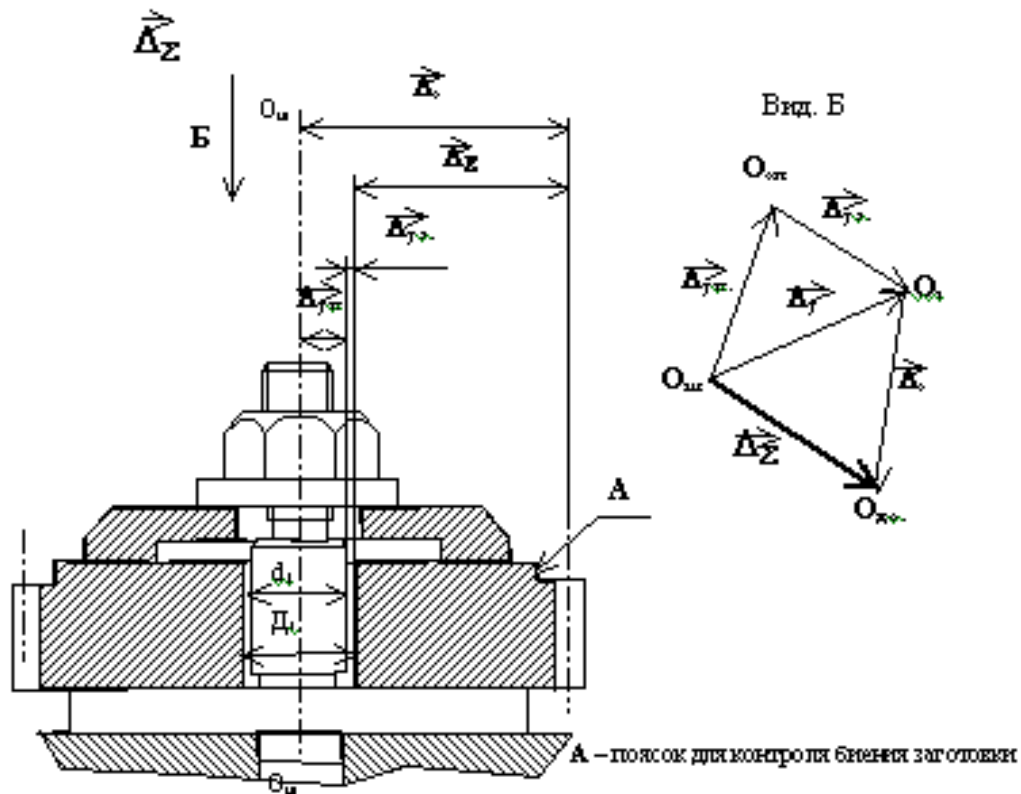


Рис. 4 Суммарная погрешность расположения делительной окружности заготовки.

Погрешность установки ( ) заготовки представляет собой смещение оси установочной поверхности заготовки (шестерни) относительно шпинделя станка.

$$\vec{\Delta}_y = \vec{\Delta}_{y,п} + \vec{\Delta}_{y,з}$$

где:  $\vec{\Delta}_{y,п}$  - погрешность расположения установочного элемента приспособления (установочной оправы) относительно оси шпинделя станка  $O_{ш}O_{ш}$ ;

$\vec{\Delta}_{y,з}$  - погрешность расположения установочной поверхности заготовки относительно установочного элемента приспособления.

Погрешность установки заготовки определяется как разность диаметров отверстия в заготовке и диаметра оправки. При этом максимально возможный зазор между заготовкой и оправой будет иметь место при условии:

$$Z_{\max} = D_1 \max - d_1 \min.$$

где:  $D_1$  – диаметр установочного отверстия заготовки;

$d_1$  – диаметр установочного элемента оправки.

Остаточная погрешность, связанная с методом обработки зависит от множества причин. Например: от геометрической точности станка; от кинематической погрешности станка; от деформации технологической си-

стемы под действием усилия резания; от размерного износа режущего инструмента; от действия температурных явлений и других факторов.

В данной лабораторной работе погрешности определяются расчетным и экспериментальным путем.

Суммарная ожидаемая расчетная погрешность определяется по формуле:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_o^2}$$

Погрешность установки заготовки определяется по формуле:

$$\Delta_y = \Delta_{y,\Pi} + \Delta_{y,з}$$

Погрешность расположения установочной поверхности заготовки относительно установочного элемента приспособления (оправки) определяется как разность диаметров  $D_1$  и  $d_1$ ,

$$\Delta_{y,з} = D_1 - d_1.$$

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Протереть стол станка и оправку салфеткой.
2. Замерить диаметр  $d_1$  оправки микрометром.
3. Проверить биение оправки  $B_o$  относительно оси вращения шпинделя станка индикатором.  
Проверку биения оправки необходимо производить при ускоренном вращении стола, которое осуществляется специальным электродвигателем ХХ11. Перед проверкой биения необходимо расцепить шестерни гитары деления, включить собачку храпового механизма и переключатель на пульте управления повернуть в положение «наладка».
4. Замерить диаметр установочного отверстия  $D_1$  в заготовке (Приложение №1).
5. Установить и закрепить заготовку на столе станка.
6. Замерить биение заготовки по специальному пояску  $A$  относительно оси вращения стола.
7. По формуле (3) подсчитать погрешность расположения установочных поверхностей заготовки относительно приспособления  $\Delta_{y,\Pi}$ .
8. По формуле (2) подсчитать погрешность установки заготовки  $\Delta_y$ .  
Замеренные и подсчитанные величины записать в сводную таблицу отчета.
9. Нарезать зубья одной шестерни согласно технологической карте (Приложение 2). Число зубьев задается преподавателем.

10. Проверить биение делительной окружности нарезанной шестерни  $\Delta_0$  относительно оси шпинделя стола станка, не снимая шестерни с приспособления. Данные измерения записать в отчет.

Примечание:

- а) Замеры биения произвести по всем впадинам шестерни индикатором с помощью ролика, диаметр ( $d_p$ ) которого определяется по формуле:

$$d_p = S_x = D_0 \cdot \sin 90^\circ / z$$

где:  $S_x$  – толщина зуба по хорде делительной окружности в мм,

$D_0$  - диаметр делительной окружности,

$z$  - число зубьев нарезаемой шестерни.

Чертеж ролика представлен в Приложении 3;

- б) погрешностями формы пренебрегаем;

- в) проверку биения производить при расцепленных шестернях гитары деления и выключенной собачке храпового механизма.

Вращение шпинделя станка производить вручную с помощью рукоятки  $P_1$ , установленной на валу ХУ (см. рис.2).

11. Снять нарезанную шестерню с приспособления.

12. Замерить биение делительной окружности нарезанной шестерни относительно оси отверстия заготовки, т. е. суммарную погрешность делительной окружности зубчатого венца шестерни относительно оси отверстия колеса  $\Delta_\Sigma$  на горизонтальных центрах (см. рис.5 и приложение 4). Замеры производить аналогично описанному в пункте 2.

Показания индикатора записать в отчет.

Проанализировав значение  $\Delta_\Sigma$ , установить наибольшее биение делительной окружности нарезанной шестерни относительно оси отверстия колеса.

Значение  $\Delta_{\Sigma\max}$  записать в сводную таблицу отчета.

13. По формуле (1) подсчитать значение  $\Delta_\Sigma$  и записать его значение в сводную таблицу отчета.

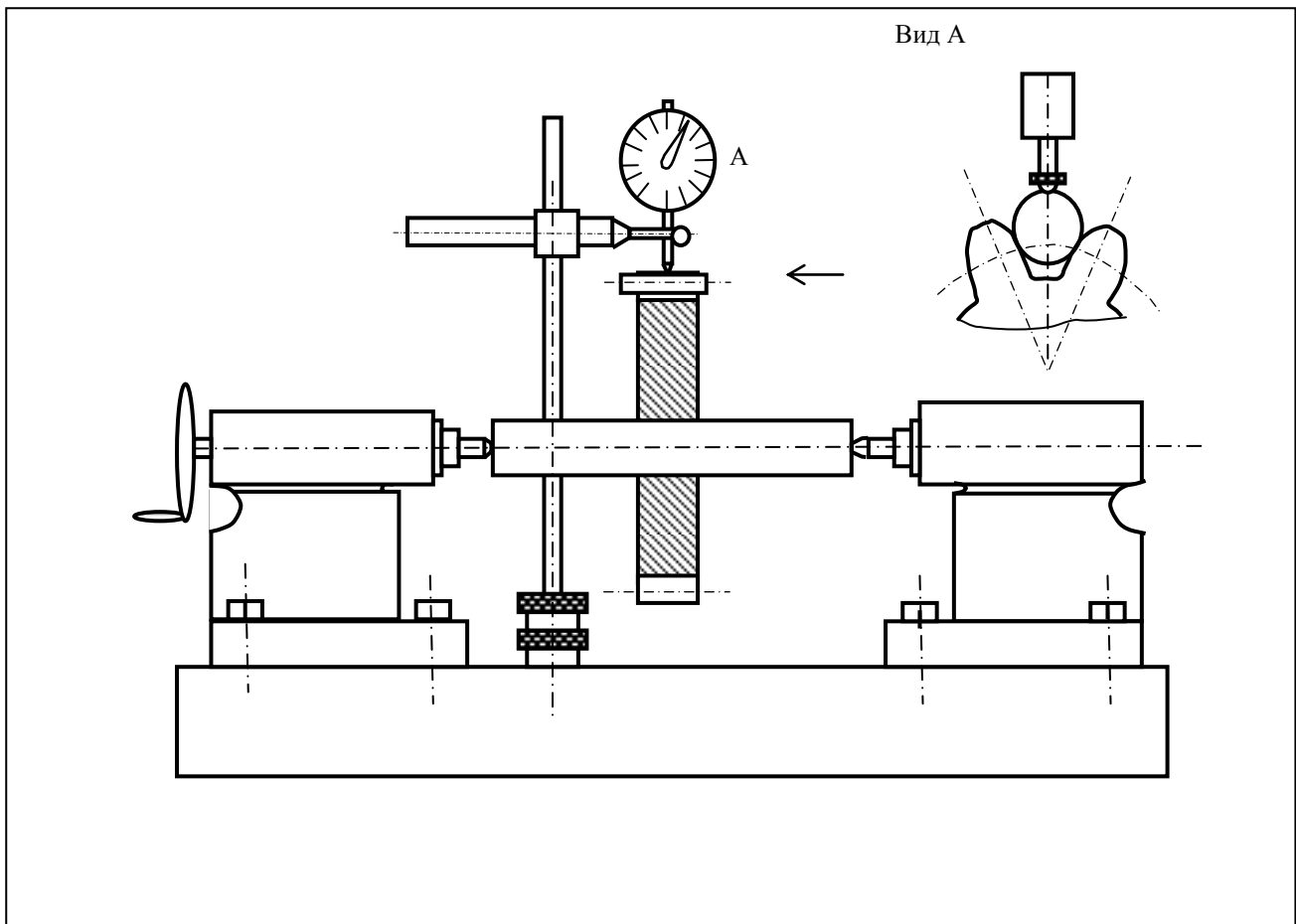


Рис. 5 Схема измерения суммарной погрешности на горизонтальных центрах

14. Замерить длину общей нормали (групповой размер) нарезанной шестерни зубомером или штангенциркулем. Размер  $L$  замерить через шесть зубьев по окружности колеса и данные записать в отчет. Проанализировать значения размеров  $L$ , установить наибольшее и наименьшее значения  $L$ .
15. По окончании работы тщательно убрать станок и сдать его лаборанту.

#### ОТЧЕТ

1. Сравнив значения замеренного на станке  $\Delta_{y.z.}$ , рассчитанного по формуле (2)  $\Delta_{y.z.}$  и заданного в операционной карте  $\delta_y$  (т.т. 1), дать заключение о погрешности установки заготовки в приспособлении и указать пути уменьшения этой погрешности.
2. Сравнив значения замеренного на горизонтальных центрах  $\Delta_{\Sigma}$  рассчитанного по формуле (1)  $\Delta_{\Sigma}$  и заданного в операционной карте  $\delta_6$  (т.т. 2), дать заключение о суммарной погрешности расположения делительной окружности нарезанной шестерни относительно оси отверстия колеса и указать пути уменьшения этой погрешности.

3. Сравнив значения замеренных  $L_{\max}$  и  $L_{\min}$  с заданными значениями в операционной карте  $L$  ( $T_L$ ), дать заключение о точности группового размера  $L$  нарезанной шестерни.

4. В выводах указать, соответствует ли точность нарезанной шестерни техническим условиям операционной карты.

В выводах по работе на основе сравнения экспериментальных, расчетных и заданных в операционной карте значений дать заключение о точности выполнения технических условий и группового размера  $L$ . Указать пути уменьшения погрешностей.

