

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

# ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов специальности  
1-36 01 03 «Технологическое оборудование  
машиностроительного производства»  
дневной формы обучения*



Могилев 2023

УДК 621.9  
ББК 34.5  
И88

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»  
«30» мая 2023 г., протокол № 13

Составитель канд. техн. наук В. Б. Попов

Рецензент канд. техн. наук А. Е. Науменко

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» дневной формы обучения.

Учебное издание

## ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ответственный за выпуск	С. Н. Хатетовский
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 44 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2023

## Содержание

Основные правила безопасности при выполнении лабораторных работ .....	4
1 Лабораторная работа № 1. Определение динамической жесткости и амплитудно-частотной характеристики технологической системы .....	5
2 Лабораторная работа № 2. Определение динамической жесткости технологической системы комбинированным резанием .....	11
3 Лабораторная работа № 3. Определение статической жесткости технологической системы комбинированными методами обработки .....	14
4 Лабораторная работа № 4. Исследование упругосилового метода комбинированной обработки шейки вала .....	16
5 Лабораторная работа № 5. Разработка способа точной поднастройки режущего инструмента при растачивании .....	20
Список литературы .....	23

## **Основные правила безопасности при выполнении лабораторных работ**

На рабочем месте должно находиться все только необходимое для работы на данном станке. Все лишние предметы следует убрать.

Перед пуском станка необходимо опробовать работу механизмов станка вручную. При наличии обнаруженных дефектов станок не включать и принять меры по устранению неисправностей.

Обрабатываемая заготовка и режущий инструмент должны быть надежно закреплены.

При работе на сверлильных, фрезерных и других станках держать заготовку руками категорически запрещается.

Необходимо проверить исправность предохранительных ограждений, имеющих на станке. Ограждения должны быть надежно закреплены.

Категорически запрещается снимать ограждения во время работы станка.

Проверить закрепления кулачков в патроне; нельзя допускать максимального расхождения кулачков в патроне.

Проверить обязательно, не оставлен ли ключ в патроне.

При работе на токарных станках не разрешается стоять против патрона, а при работе на шлифовальных станках – против шлифовального круга.

Трогать руками вращающиеся инструменты и изделия запрещается.

Перед началом работы на шлифовальных станках необходимо проверить шлифовальный круг (отсутствие или наличие трещин).

На заточных и шлифовальных станках без предохранительных кожухов работать категорически запрещается.

При работе на заточных станках обязательно пользоваться предохранительными очками.

# 1 Лабораторная работа № 1. Определение динамической жесткости и амплитудно-частотной характеристики технологической системы

**Цель работы** – изучить методику экспериментального определения динамической жесткости и амплитудно-частотной характеристики технологической системы.

## *Общие сведения*

В зависимости от методов экспериментального определения жесткости технологической системы (ТС) различают:

– статическую жесткость (определяется путем нагружения ТС статической силой);

– динамическую жесткость (определяется посредством нагружения ТС динамической силой, изменяющейся по гармоническому закону).

Динамическая жесткость ТС является комплексным параметром, определяющим виброустойчивость процесса механической обработки, а следовательно, и точность геометрической формы в продольном и поперечном сечениях обрабатываемой детали.

Под динамической жесткостью ТС понимают способность системы сопротивляться действию динамических сил, изменяющихся по гармоническому закону.

Динамическая жесткость определяется из уравнения

$$j_d = \frac{P_{дин(\omega)}}{y(\omega)}, \quad (1)$$

где  $j_d$  – динамическая жесткость ТС, Н/м;

$P_{дин(\omega)}$  – динамическая сила, действующая на ТС и изменяющаяся по гармоническому закону, Н;

$y(\omega)$  – величина упругих отжатий в ТС в направлении действия силы (величина упругих относительных колебаний детали и инструмента), м.

Известные методы экспериментального определения динамических характеристик ТС (динамической жесткости и амплитудно-частотной характеристики) имеют высокую себестоимость, достаточно сложны, требуют специальных вибраторов и сложной контрольно-регистрирующей аппаратуры, приемлемы только для лабораторных условий [1].

В Белорусско-Российском университете разработан способ определения динамических характеристик ТС, лишенный указанных недостатков и легко реализуемый как в лабораторных условиях, так и в условиях производства [2].

Схема установки для осуществления разработанного способа определения динамических характеристик ТС представлена на рисунке 1.

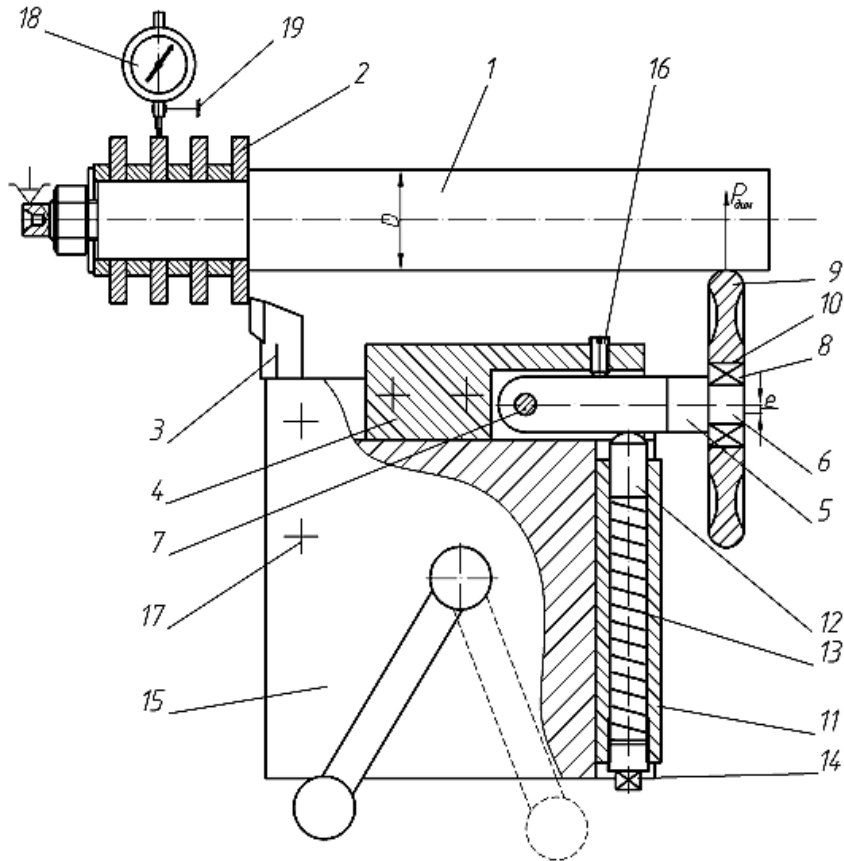


Рисунок 1 – Схема установки для проведения исследований

Схема включает эталонную деталь 1 с шейками 2 (шейки 2 предварительно обработаны по 8 квалитету точности), резец 3 и деформирующий инструмент для нагружения ТС усилием деформирования, изменяющимся по гармоническому закону. Деформирующий инструмент выполнен в виде корпуса 4, державки 5 с цилиндрической цапфой 6, оси 7, подшипника 8, деформирующего ролика 9 с эксцентрично выполненным отверстием 10 и специального динамометра, включающего основание 11, толкатель 12, пружину 13 и регулировочный винт 14. Державка 5 соединена с корпусом 4 осью 7 и имеет возможность поворота в плоскости резцедержателем 15. Поворот державки 5 ограничен упором 16, закрепленным на корпусе 4. Резец 3, корпус 4, основание 11 установлены в соответствующих пазах резцедержателя 15 и закреплены крепежными винтами 17.

Для контроля величины радиального биения обработанных шеек 2 эталонной детали 1 имеются индикатор 18 и магнитная стойка 19.

### ***Используемое оборудование и технологическая оснастка***

- 1 Токарно-винторезный станок мод. 16Д25.
- 2 Инструмент деформирующий ИД.000.000.СБ.
- 3 Резец проходной (материал режущей части – Т15К6).

- 4 Индикатор часового типа ИЧ (ГОСТ577–68) с ценой деления 0,002 мм.
- 5 Стойка магнитная.
- 6 Динамометр специальный (жесткость пружины  $c = 5 \cdot 10^4$  Н/мм).
- 7 Эксцентриситет деформирующего ролика  $e = 3$  мм.
- 8 Эталонная деталь (рисунок 2).

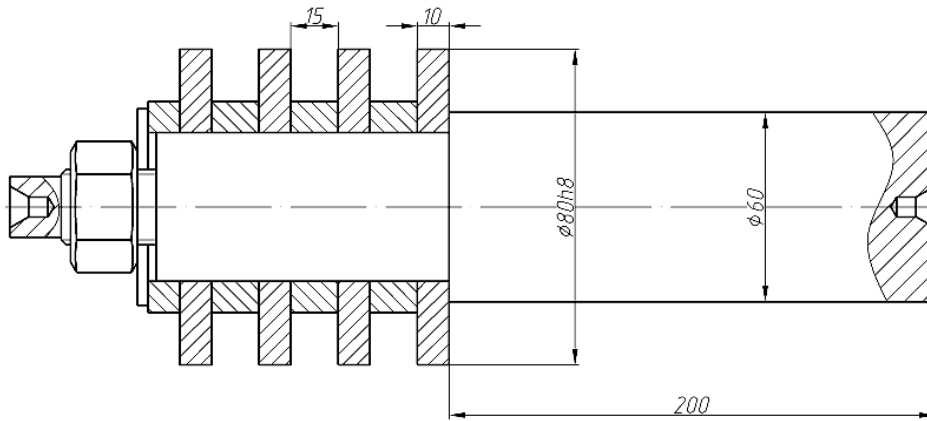


Рисунок 2 – Эскиз эталонной детали

### **Методика проведения эксперимента**

Эталонную деталь *1* закрепляют в патроне станка и поджимают центром пиноли задней бабки. Рабочую поверхность деформирующего ролика *9* вводят в контакт с цилиндрической поверхностью детали *1*. Посредством поворота винта *14* сжимают на соответствующую величину пружину *13* и нагружают деталь *1* (ТС) номинальной силой деформирования.

Устанавливают первую из исследуемых частот вращения шпинделя станка. Детали *1* сообщают вращение, а резцедержателю *15* – движение подачи *S* вдоль обрабатываемой поверхности. Резец *3* вступает в работу и срезает с поверхности шейки *2* слой металла с номинальной глубиной резания *t*. Одновременно с цилиндрической поверхностью детали *1* взаимодействует деформирующий ролик *9*, осуществляя ее поверхностное пластическое деформирование. При этом деформирующий ролик *9* получает вращение от детали *1* и вращается вокруг продольной оси цилиндрической цапфы *6*. Поскольку деформирующий ролик установлен на цапфе *6* с эксцентриситетом *e*, то за один оборот деформирующего ролика *9* державка *5* повернется на угол  $\Delta\varphi$ , а толкатель *12* сместится в осевом направлении основания *11* на величину, определяемую выражением

$$\Delta = \frac{OA \cdot e}{OB}, \quad (2)$$

где  $\Delta$  – величина дополнительного сжатия пружины динамометра, мм;  
*e* – величина эксцентриситета деформирующего ролика, мм;

$OA$  – расстояние от оси поворота державки до точки пересечения продольных осей державки и толкателя динамометра, мм;

$OB$  – расстояние от оси поворота державки до точки пересечения продольной оси державки с радиальной плоскостью симметрии деформирующего ролика, мм.

Тогда за один оборот деформирующего ролика  $9$  на ТС действует дополнительно динамическая сила, максимальную величину которой определяют из соотношения

$$P_{дин(\omega)} = c \cdot \Delta, \quad (3)$$

где  $P_{дин(\omega)}$  – динамическая сила, действующая на ТС, Н;

$c$  – жесткость пружины динамометра, Н/м;

$\Delta$  – величина дополнительного сжатия пружины динамометра, м.

Динамическая сила «раскачивает» ТС и вызывает упругие динамические отжатия детали  $1$  и резца  $3$ . При этом резец  $3$ , обрабатывая шейку  $2$ , формирует поверхность с радиальным биением  $y(\omega)$ .

Все последующие шейки  $2$  эталонной детали  $1$  обрабатывают на остальных исследуемых частотах вращения шпинделя станка.

По окончании обработки станок останавливают и отводят инструмент в исходное положение. Магнитную стойку  $19$  устанавливают на поверхности суппорта станка. Ножку индикатора  $18$  вводят в контакт с обработанной шейкой  $2$ . Повернув деталь на  $360^\circ$  (путем поворота шпинделя станка), определяют величину радиального биения поверхности шейки  $2$ . Последовательно измеряют радиальное биение всех обработанных шеек  $2$  эталонной детали. Данные измерений заносят в таблицу  $1$ .

Динамическую жесткость ТС определяют по формуле (1) с учетом результатов измерений.

Величина радиального биения  $y(\omega)$  обработанной шейки  $2$  фактически равна амплитуде относительных упругих колебаний детали  $1$  и резца  $3$ , возникающих в ТС под действием динамической силы  $P_{дин(\omega)}$ . Так как все шейки  $2$  эталонной детали  $1$  обрабатывают на различных исследуемых частотах вращения шпинделя, то возможно построить амплитудно-частотную характеристику ТС.

Амплитудно-частотной характеристикой ТС называют зависимость амплитуды упругих колебаний системы от частоты изменения динамической силы  $3$ , действующей на систему (рисунок  $3$ ).

Частота динамической силы  $P_{дин(\omega)}$  связана с частотой вращения шпинделя станка следующей зависимостью:

$$\omega_i = \frac{\pi \cdot n_i \cdot D}{30 \cdot d}, \quad (4)$$

где  $\omega_i$  – частота изменения динамической силы,  $c^{-1}$ ;



$n_i$  – частота вращения шпинделя станка,  $\text{мин}^{-1}$ ;  
 $D$  – диаметр упрочняемой поверхности детали, мм;  
 $d$  – диаметр деформирующего ролика, мм.

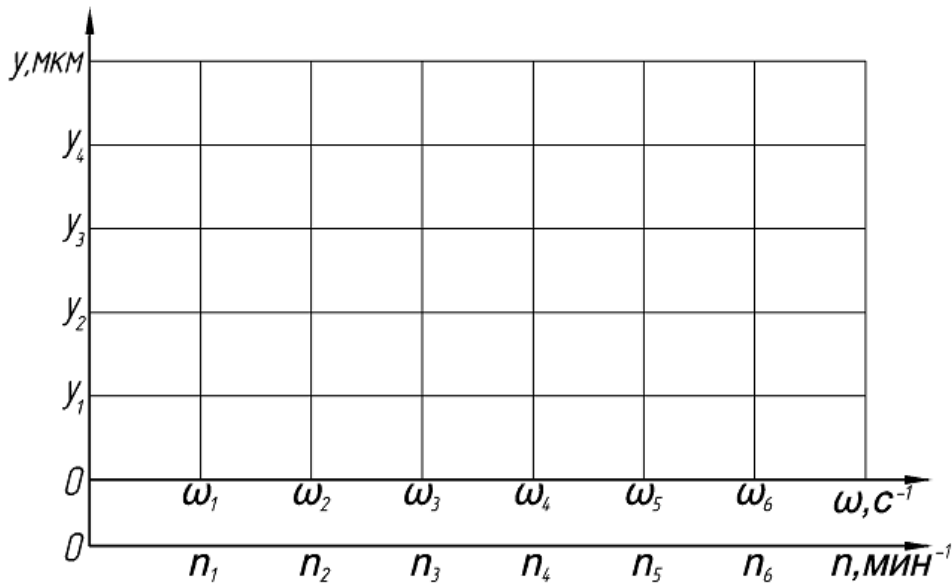


Рисунок 3 – Экспериментальная амплитудно-частотная характеристика ТС

Полученная амплитудно-частотная характеристика ТС позволяет определить рациональную частоту вращения шпинделя, при которой обеспечиваются минимальные относительные колебания детали и режущего инструмента и, как следствие, повышение точности геометрической формы в продольном и поперечном сечениях обрабатываемой детали.

### **Порядок выполнения работы**

1 Установить эталонную деталь в патроне станка и поджать центром пиноли задней бабки.

2 Деформирующий инструмент закрепить в резцедержателе станка (см. рисунок 1).

3 Деформирующий ролик инструмента повернуть вокруг оси вращения, обеспечив максимальное удаление его рабочего профиля от упрочняемой поверхности эталонной детали.

4 Перемещением резцедержателя ввести рабочий профиль деформирующего ролика в контакт с упрочняемой поверхностью эталонной детали, обеспечив зазор  $\delta = 1,5 \dots 2$  мм между боковой поверхностью державки 5 и упором 16 корпуса 4 (см. рисунок 1).

5 Посредством динамометра нагрузить ТС силой деформирования 200 Н.

6 Вставить резец в паз резцедержателя станка и установить его (по отношению к шейкам эталонной детали) на глубину резания  $t = 0,5 \dots 1$  мм.

- 7 Обеспечить на станке продольную подачу инструмента  $S = 0,15$  мм/об.
- 8 Установить на станке первую из исследуемых частот вращения шпинделя.
- 9 Детали сообщить вращение, а режущему и деформирующему инструментам – осевую подачу. Обработать первую шейку эталонной детали.
- 10 Аналогично обработать остальные шейки эталонной детали на исследуемых частотах вращения шпинделя станка.
- 11 Измерить радиальное биение  $y_{(\omega)}$  обработанных шеек эталонной детали. Данные измерений занести в таблицу 1.
- 12 Рассчитать динамическую силу  $P_{дин(\omega)}$  по формуле (1).
- 13 Вычислить частоты  $\omega_i$  изменения динамической силы деформирования для исследуемых частот  $n_i$  вращения шпинделя станка, используя зависимость (3).
- 14 Рассчитать динамическую жесткость ТС для исследуемых частот вращения шпинделя станка по формуле (1) и найти среднюю величину динамической жесткости ТС.
- 15 Построить амплитудно-частотную характеристику ТС (см. рисунок 2).
- 16 Построить зависимость динамической жесткости ТС от частоты изменения динамической силы.
- 17 Составить отчет.

Таблица 1 – Таблица результатов измерений и расчета динамической жесткости ТС

Номер обрабатываемой шейки	Частота вращения шпинделя станка, мин <sup>-1</sup>	Частота изменения динамической силы деформирования, с <sup>-1</sup>	Радиальное биение обработанной шейки, мкм	Динамическая жесткость ТС, Н/м	Средняя динамическая жесткость ТС, Н/м
	$n$	$\omega_i = \frac{\pi \cdot n_i \cdot D}{30 \cdot d}$	$y_{(\omega)}$	$j_{\partial i} = \frac{P_{дин(\omega)}}{y_{(\omega)i}}$	
1					
2					
3					
4					
...					
$k$					

### Содержание отчета

- 1 Название работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Используемое оборудование и технологическая оснастка.
- 4 Эскиз установки для определения динамических характеристик ТС.

- 5 Таблица результатов измерений и расчета динамической жесткости ТС (см. таблицу 1).
- 6 Графики зависимостей (см. рисунок 3).
- 7 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Что называется динамической жесткостью технологической системы?
- 2 Как определяется динамическая жесткость технологической системы?
- 3 Как получить амплитудно-частотную характеристику технологической системы?
- 4 Зависит ли динамическая жесткость технологической системы от частоты изменения динамической силы, действующей на систему?
- 5 Как зависит динамическая жесткость технологической системы от величины действующих сил?

## **2 Лабораторная работа № 2. Определение динамической жесткости технологической системы комбинированным резанием**

**Цель работы** – ознакомиться с методами определения динамической жесткости технологической системы; оценить возможность определения динамической жесткости технологической системы комбинированным резанием; дать предложения по разработке новых методов определения динамической жесткости технологической системы.

### ***Используемое оборудование и измерительные инструменты***

- 1 Токарно-винторезный станок 16Д25.
- 2 Резцы проходные (ГОСТ 18878–73, Т15К6).
- 3 Контрольная оправка в сборе с обрабатываемыми кольцами.
- 4 Индикатор часового типа ИЧ (ГОСТ 577–68) с ценой деления 0,002 мм.
- 5 Стойка магнитная.
- 6 Микрометр (ГОСТ 6507–78).

### ***Общие сведения***

На рисунке 4 представлена схема экспериментальной установки, в состав которой входят: оправка 1, имеющая соосную цилиндрическую шейку 2, эксцентрично расположенную цилиндрическую шейку 3, обрабатываемые кольца 4–7, проставочные втулки 8, 9 и гайки 10, 11, токарно-винторезный станок с трехкулачковым патроном 12, задним центром 13 и суппортом 14, резцы 15, 16, магнитная стойка 17, индикатор часового типа 18.

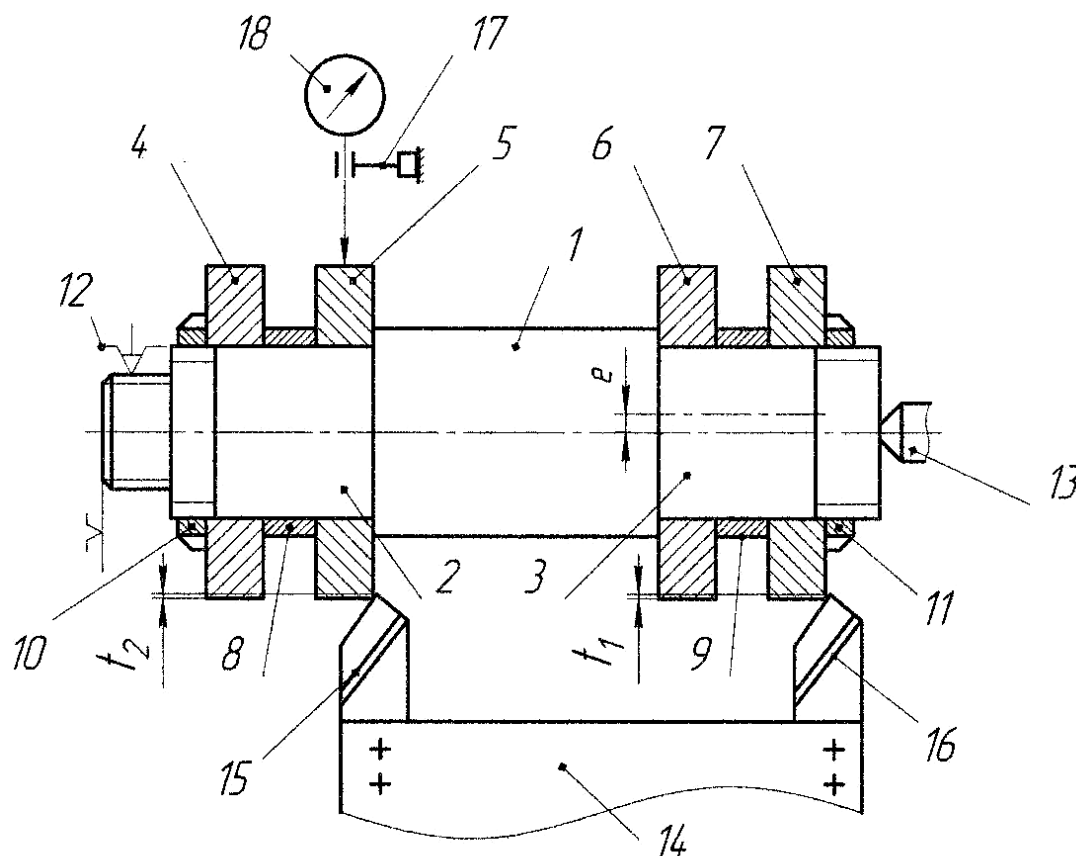


Рисунок 4 – Схема экспериментальной установки

### **Методика проведения эксперимента**

1 Установить на оправке 1 обрабатываемые кольца 4–7 (сталь 45, 180...200 НВ).

2 Закрепить оправку 1 в сборе на станке в соответствии с рисунком 4.

3 Настроить резцы 16, 15 соответственно на глубину резания:  $t_1 = 0,5 + e$ , мм;  $t_2 = 0,2 \dots 0,4$  мм ( $e$  – величина эксцентриситета цилиндрической шейки 3 оправки 1).

4 Установить на станке режимы резания:  $n$ , мин<sup>-1</sup>;  $S$ , мм/об.

5 Обточить обрабатываемые шейки 4–7 оправки 1.

6 Индикатором 18 измерить величину погрешности геометрической формы обрабатываемых шеек 4–7. Данные измерений занести в таблицу 1.

7 Определить аналитическим методом изменение радиальной составляющей силы резания  $\Delta P_y$  при обтачивании колец 6, 7, закрепленных на эксцентрично расположенной цилиндрической шейке 3. Уточнить параметры технологической системы, необходимые для расчета величины изменения радиальной составляющей силы резания. При этом изменение глубины резания  $\Delta t$  следует принять равной  $e$ .

## Обработка результатов эксперимента

1 Определить динамическую жесткость технологической системы по формуле

$$j_d = \Delta P_y / Y_{cp}.$$

2 Дать предложения по усовершенствованию метода определения динамической жесткости технологической системы.

3 Составить заявку на предполагаемое изобретение.

## Содержание отчета

1 Наименование работы.

2 Цель работы.

3 Схема экспериментальной установки.

4 Применяемое оборудование и инструменты.

5 Анализ результатов исследования (таблица 2) и выводы по работе.

6 Материалы заявки на предполагаемое изобретение.

Таблица 2 – Сводная таблица экспериментальных и расчетных параметров

Параметры	Номер обработанной шейки			
	4	5	6	7
Погрешность геометрической формы шейки, мкм				
Средняя величина погрешности геометрической формы 4 и 5 шеек, мкм	$Y_{cp} =$		–	
Расчетное значение измерения радиальной составляющей силы резания, Н	$\Delta P_y =$			
Динамическая жесткость технологической системы, Н/мкм	$j_d = \frac{\Delta P_y}{Y_{cp}} =$			

## Контрольные вопросы

1 Что входит в состав технологической системы при механической обработке деталей на металлорежущих станках?

2 Что называется жесткостью технологической системы?

3 Какими методами можно повысить жесткость элементов металлорежущего станка?

4 В чем заключается разница в понятиях «статическая» и «динамическая» жесткость?

5 Какие методы определения жесткости элементов технологической системы Вы знаете?

6 В чем заключается преимущество метода определения динамической жесткости технологической системы комбинированным резанием?

### 3 Лабораторная работа № 3. Определение статической жесткости технологической системы комбинированными методами обработки

**Цель работы** – ознакомиться с существующими методами определения статической жесткости элементов металлорежущего станка; оценить эффективность определения статической жесткости элементов технологической системы с помощью комбинированного инструмента; дать предложения по разработке новых производственных методов определения статической жесткости технологической системы.

#### *Используемое оборудование и измерительные инструменты*

- 1 Станок токарно-винторезный 16Д25.
- 2 Специальный комбинированный инструмент, содержащий корпус, режущий и деформирующий элементы.
- 3 Обрабатываемый вал. Материал вала – сталь 45 (180...200 НВ). Размеры вала ( $D \times l$ ):  $50 \times 200$  мм.
- 4 Микрометр (ГОСТ 6507–78).

#### *Схема экспериментальной установки*

В состав установки входят: токарно-винторезный станок с патроном 1 и задним центром 2, обрабатываемый вал 3, комбинированный инструмент с корпусом 4, режущим 5 и деформирующим 6 элементами, силовая пружина 7, резцедержатель 8 (рисунок 5).

#### *Методика проведения эксперимента*

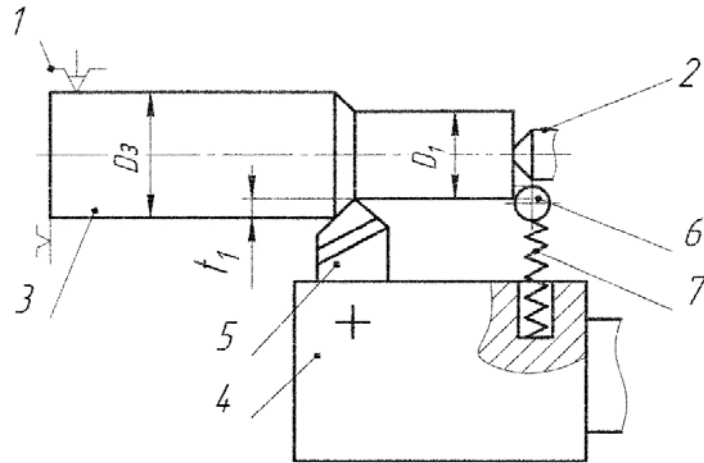
- 1 Закрепить вал в патроне 1 и заднем центре 2.
- 2 Закрепить корпус 4 комбинированного инструмента в резцедержателе 8.
- 3 Настроить режущий 5 и деформирующий 6 элементы в соответствии с рисунком 5.
- 4 Установить режимы обработки:  $n$ , мин<sup>-1</sup>;  $S$ , мм/об;  $P_{деф}$ , Н;  $t_1$ , мм.
- 5 Обработать резанием и деформированием поверхность вала (см. рисунок 5, а, б).
- 6 Измерить диаметры  $D_1$  и  $D_2$  полученных на валу цилиндрических шеек.
- 7 Определить величину упругих отжатий в технологической системе под действием силы деформирования по формуле

$$y = \frac{1}{2}(D_2 - D_1) .$$

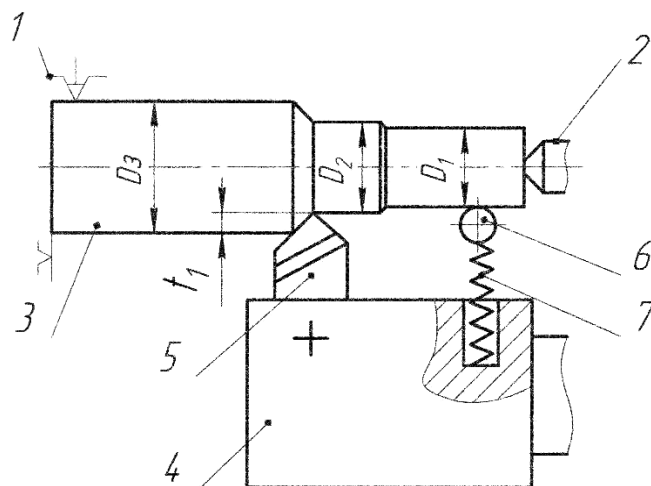
8 Определить статическую жесткость технологической системы по зависимости

$$j = \frac{2P_{\text{деф}}}{D_2 - D_1}.$$

а)



б)



а – до вступления в работу деформирующего элемента; б – после вступления в работу деформирующего элемента

Рисунок 5 – Схема установки для определения статической жесткости технологической системы

### **Обработка результатов эксперимента**

- 1 Выполнить пп. 7–8 методики проведения эксперимента.
- 2 Дать предложения по усовершенствованию метода определения статической жесткости технологической системы.
- 3 Составить заявку на предполагаемое изобретение.

### *Содержание отчета*

- 1 Наименование работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Схема экспериментальной установки.
- 4 Применяемое оборудование и инструменты.
- 5 Анализ результатов исследования и выводы по работе.
- 6 Материалы заявки на предполагаемое изобретение.

### *Контрольные вопросы*

- 1 В чем заключается сущность процесса совмещенной обработки резанием и ППД?
- 2 Назовите известные Вам методы определения статической жесткости технологической системы.
- 3 В чем заключается преимущество метода определения статической жесткости технологической системы с помощью комбинированного инструмента?
- 4 Зависит ли жесткость технологической системы от режимов обработки?
- 5 Какими методами можно повысить жесткость технологической системы?

## **4 Лабораторная работа № 4. Исследование упругосилового метода комбинированной обработки шейки вала**

**Цель работы** – выполнить анализ существующих схем совмещенной обработки резанием и ППД; ознакомиться с новым упругосиловым методом комбинированной обработки; выявить технологические возможности упругосилового метода комбинированной обработки; дать рекомендации по усовершенствованию упругосилового метода комбинированной обработки резанием и ППД применительно к упрочнению шеек вала, под подшипники, а также одновременной обработке двух шеек по краям вала.

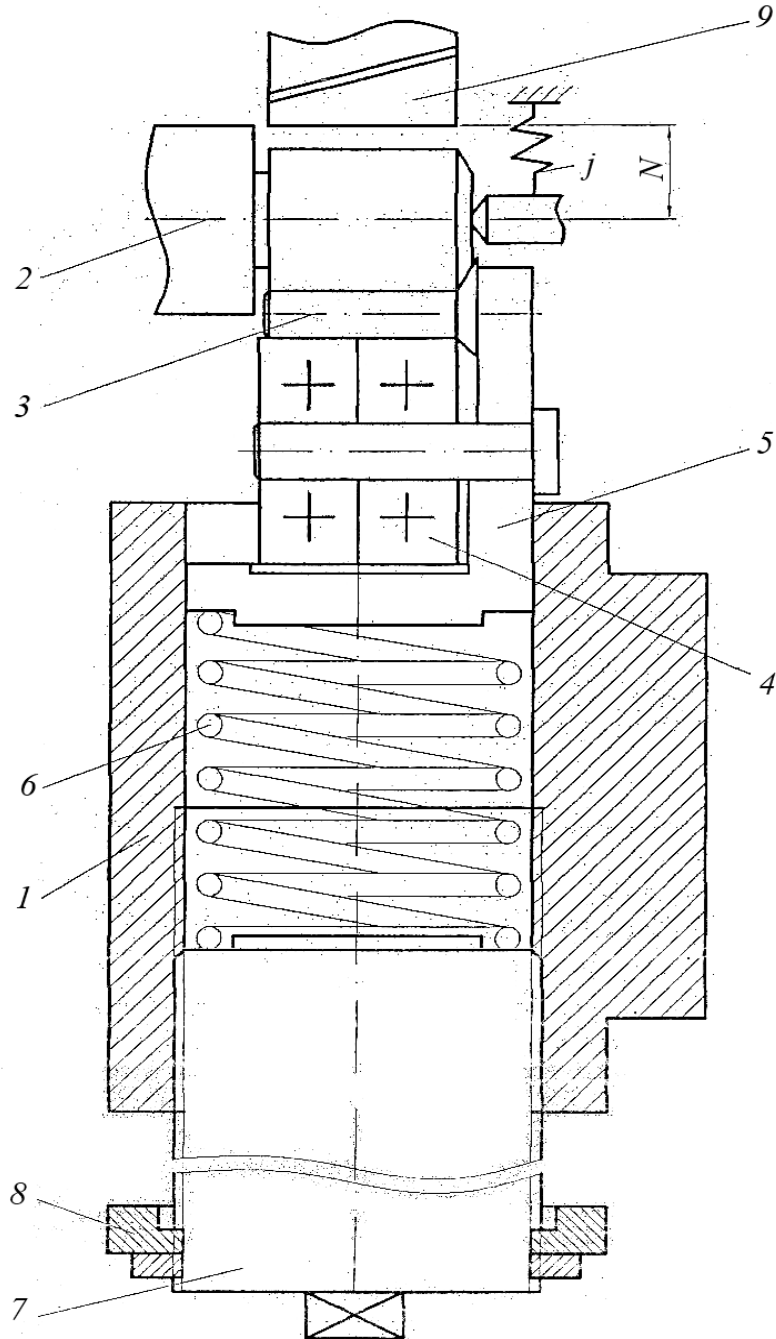
### *Используемое оборудование, приборы и инструменты*

- 1 Токарно-винторезный станок 16Д25.
- 2 Специальный деформирующий инструмент для упрочняющей обработки.
- 3 Резец специальный (материал режущей части – Т15К6).
- 4 Заготовки для проведения эксперимента: диаметр – 60 мм, длина – 200 мм, диаметр обрабатываемых шеек вала – 41 мм, длина шеек – 25 мм. Количество заготовок: первая партия – 50 шт. (сталь 40Х); вторая партия – 50 шт. (Д16Т).
- 5 Стойка магнитная.
- 6 Индикатор часового типа ИЧ-02 кл. О ГОСТ 577–68, цена деления 0,002 мм.  
Режимы обработки:  $V = 80$  м/мин;  $P_{деф.н} = 800$  Н; диаметр деформирующего элемента – 6 мм.



### Методика проведения эксперимента

1 Закрепить корпус *1* инструмента в резцедержателе, а деталь *2* – в центрах станка (рисунок 6).



*1* – корпус; *2* – деталь; *3* – деформирующий элемент; *4* – подшипниковая опора; *5* – ползун; *6* – силовая пружина; *7* – винт; *8* – упор; *9* – режущий инструмент

Рисунок 6 – Схема упругосилового метода комбинированной обработки

2 Подвести деформирующий элемент 3 в контакт с поверхностью шейки детали 2.

3 С диаметрально противоположной стороны детали 2 установить магнитную стойку и ввести ножку индикатора в контакт с поверхностью шейки.

4 Нагрузить деталь последовательно силой деформирования 25, 50, 75, 100, 125, 150 Н посредством поворота винта 7 деформирующего устройства и соответствующего сжатия силовой пружины 5.

После каждого нагружения детали указанной силой деформирования индикатором фиксировать величину упругого смещения детали. Данные измерений внести в таблицу 3.

Таблица 3 – Величины упругих отжатий под действием силы деформирования

Сила нагружения, Н	Величина упругих отжатий, мкм	Средняя жесткость центров станка $j$ , Н/мкм
25		
50		
75		
100		
125		
150		

5 Рассчитать среднюю жесткость центров станка  $j$ .

6 Рассчитать настроечный размер  $N$  режущего инструмента по формуле

$$N = \frac{D_{cp}}{2} + \frac{P_{деф.н}}{j},$$

где  $D_{cp}$  – средний диаметр обработки,  $D_{cp} = (D_{max} + D_{min}) / 2$  ( $D_{max}$ ,  $D_{min}$  – наибольший и наименьший допустимые размеры обрабатываемой поверхности соответственно);

$P_{деф.н}$  – номинальная величина силы деформирования, Н;

$j$  – экспериментальное значение жесткости центров станка, Н/мкм.

7 Закрепить режущий инструмент в специальном резцедержателе станка и обеспечить размер настройки  $N$ .

8 Заготовку установить в центрах станка и сообщить ей вращательное движение. Поворотом винта 7 ввести в контакт с поверхностью шейки деформирующий элемент 3 и нагрузить деталь силой деформирования  $P_{деф.н}$ . При этом упор 8 инструмента упирается в корпус 1. В процессе нагружения детали силой деформирования деталь с обрабатываемой поверхностью упруго смещаются на режущий инструмент 9. При этом резец 9 калибрует поверхность в размер, а деформирующий элемент 3 осуществляет окончательную отделочно-упрочняющую обработку.

9 Обработать аналогично шейки деталей первой и второй партий.

10 Замеры диаметральных размеров обработанных поверхностей внести в таблицу 4.

11 С помощью методов математической статистики определить  $6\sigma$ -поле рассеивания размеров обработанных поверхностей и сделать выводы по точностным возможностям разработанного метода.

12 Дать рекомендации по усовершенствованию упругосилового метода комбинированной обработки резанием и ППД применительно к упрочнению шеек под подшипники длинных валов, а также по одновременной обработке шеек по краям вала.

13 Из числа предложенных технических решений по усовершенствованию метода обработки выбрать наиболее значимое.

Таблица 4 – Результаты измерений диаметра обработанных шеек

Номер партии		$D$ , мм	$6\sigma$
Первая партия	1		
	...		
	50		
Вторая партия	1		
	...		
	50		

Совместно с преподавателем составить формулу изобретения патентуемого технического решения.

### ***Содержание отчета***

- 1 Цель работы.
- 2 Применяемое оборудование и инструмент.
- 3 Схема экспериментальной установки.
- 4 Таблицы результатов измерения.
- 5 Графическое изображение результатов эксперимента.
- 6 Анализ полученных результатов и выводы по работе.
- 7 Формула изобретения патентуемого технического решения.

### ***Контрольные вопросы***

1 Какие разновидности схем совмещенной обработки деталей резанием и ППД Вам известны?

2 В чем состоит сущность упругосилового метода комбинированной обработки резанием и ППД?

3 Назовите основное отличие упругосилового метода комбинированной обработки от традиционных схем совмещенной обработки резанием и ППД.

4 Какие преимущества обеспечивает упругосилового метод комбинированной обработки?

5 Выберите целесообразную область применения разработанного метода отделочно-упрочняющей обработки.

## 5 Лабораторная работа № 5. Разработка способа точной поднастройки режущего инструмента при растачивании

**Цель работы** – ознакомиться с методами адаптивного управления точностью механической обработки деталей; оценить возможность управления точностью растачивания отверстия втулки за счет регулировочного изменения углового расположения режущего инструмента; дать предложения по разработке новых методов управления точностью обработки деталей машин.

### *Используемое оборудование и измерительные инструменты*

- 1 Токарно-винторезный станок 16Д25.
- 2 Специальный инструмент для расточки отверстия и регулирования углового положения резца.
- 3 Нутромер индикаторный (ГОСТ 868–82) (точность измерения 0,002 мм).
- 4 Обрабатываемая деталь – втулка. Материал – сталь 45 (ГОСТ 1050–74), твердость (180...200) НВ. Размеры  $D \times d \times B$  соответственно  $80 \times 50 \times 30$  мм; исходная точность обработки отверстия втулки – по Н7.
- 5 Материал режущей части резца для расточки отверстия Т15К6.

### *Схема экспериментальной установки*

Экспериментальная установка включает: токарно-винторезный станок, специальный инструмент для расточки отверстия и регулирования углового положения резца, самоцентрирующийся трехлапчатый патрон, обрабатываемую деталь.

Основные элементы экспериментальной установки (рисунок 7): 1 – корпус инструмента; 2 – расточная оправка; 3 – резец; 4 – червячное колесо; 5 – червяк; 6 – корпус червяка; 7 – резцедержатель; 8 – обрабатываемая деталь; 9 – маховик; 10 – крепежные винты; 11 – подшипниковая опора.

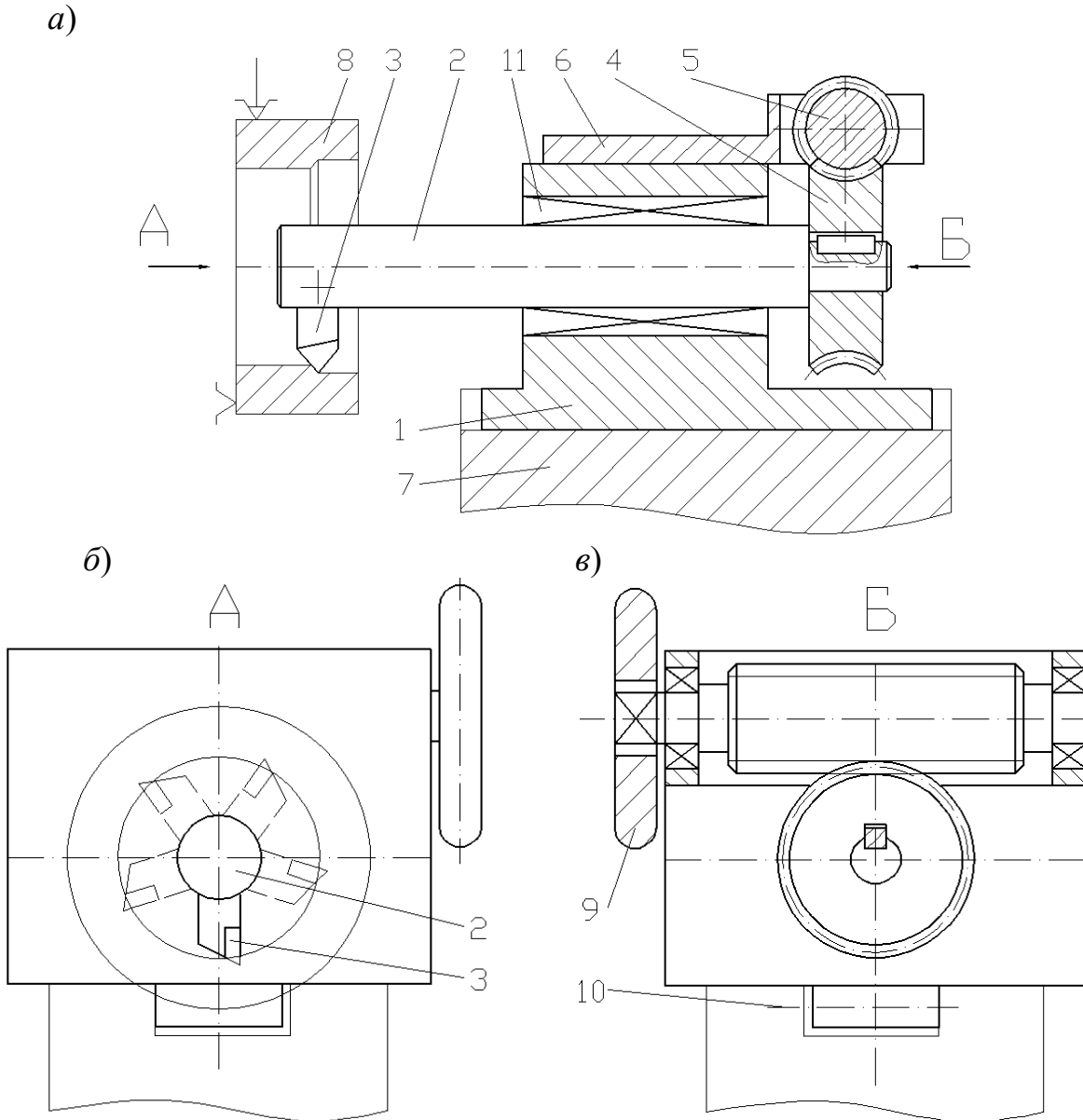
### *Методика проведения эксперимента*

- 1 В резцедержателе 7 станка закрепить корпус 1 инструмента.
- 2 Установить и закрепить деталь 8 в патроне станка.
- 3 Перемещением резцедержателя 7 ввести резец 3 инструмента в отверстие обрабатываемой детали 8.
- 4 Установить технологические режимы расточки отверстия:  $v = 60$  м/мин;  $S = 0,15$  мм/об;  $t = 1,5$  мм.
- 5 Поворотом маховика 9 инструмента расположить резец 3 в горизонтальной плоскости.
- 6 На указанной угловой настройке расточить отверстие партии втулок в количестве 5 шт.

7 Нутромером измерить диаметры отверстий расточенных образцов и занести данные измерений в таблицу 1.

8 Поворотом маховика 9 последовательно установить следующие углы расположения резца: 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315, 360.

9 Для указанных углов расположения резца 3 выполнить пп. 6 и 7 представленной методики.



*a* – сечение в горизонтальной плоскости; *б* – вид А; *в* – вид Б

Рисунок 7 – Схема экспериментальной установки

### **Обработка результатов эксперимента**

1 Построить график зависимости точности получения диаметального размера обработанной втулки от величины угла расположения резца инструмента (рисунок 8).

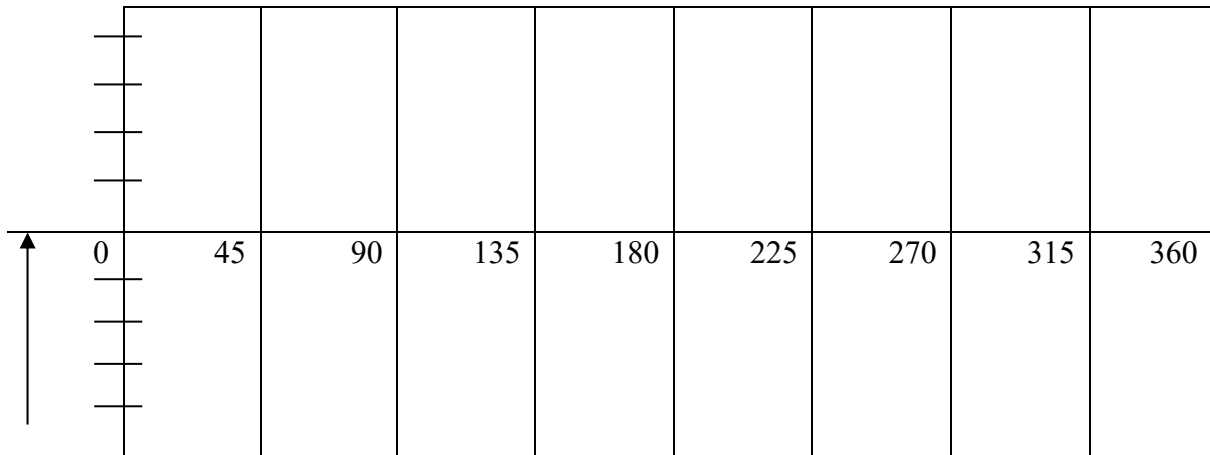


Рисунок 8 – График зависимости точности получения диаметального размера втулки от угла расположения резца

2 Сделать выводы о влиянии угла расположения резца инструмента на точность получения диаметального размера отверстия втулки при растачивании.

3 Дать предложения по разработке метода управления точностью обработки за счет регулировочного изменения угла расположения резца инструмента.

4 Составить заявку на предполагаемое изобретение.

### **Содержание отчета**

- 1 Наименование работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Схема экспериментальной установки.
- 4 Применяемое оборудование и инструменты.
- 5 Анализ результатов исследования (таблица 5) и выводы по работе.
- 6 Материалы заявки на предполагаемое изобретение.

### **Контрольные вопросы**

1 В чем заключается сущность методов адаптивного управления точностью механической обработки деталей?

2 Чем обусловлено изменение диаметра растачиваемых втулок (т. е. размера динамической настройки резца) при установке различных углов расположения резца инструмента?

3 Чем объясняется наличие в технологической системе оси наибольшей и наименьшей жесткости?

4 Как искусственно обеспечить неравномерную угловую жесткость технологической системы?

Таблица 5 – Результаты измерений диаметров отверстий втулок, обработанных при различном углом расположении резца инструмента

Угол поворота резца $\alpha$ , град	Диаметр отверстия втулки $D$					Средний диаметр расточенного отверстия $D_{cp}$
	1	2	3	4	5	
0						
45						
90						
135						
180						
225						
270						
315						
360						

### Список литературы

1 Металлорежущие станки: учебник / В. Д. Ефремов [и др.]; под общ. ред. П. И. Ящерицына. – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 696 с.

2 Юркевич, В. В. Испытания, контроль и диагностика металлорежущих станков / В. В. Юркевич, А. Г. Схиртладзе, В. П. Борискин. – Старый Оскол : ТНТ, 2011. – 522 с.

3 Станочное оборудование машиностроительных производств: учебник: в 2 ч. / А. М. Гаврилин [и др.]. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – Ч. 1. – 416 с.

4 Станочное оборудование машиностроительных производств: учебник: в 2 ч. / А. М. Гаврилин [и др.]. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – Ч. 2. – 408 с.

5 Сергель, Н. Н. Металлорежущие станки: учебное пособие: в 2 ч. / Н. Н. Сергель. – Барановичи: РИО БарГУ, 2009. – Ч. 1. – 257 с.

6 Ефремов, В. Д. Металлорежущие станки : учебник / В. Д. Ефремов, В. А. Горохов, А. Г. Схиртладзе ; под общ. ред. П. И. Ящерицына. – 2-е изд., стер. – Старый Оскол : ТНТ, 2018. – 696 с.