

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Технология машиностроения»

М.А. Кравчук, С.Э. Крайко, В.К. Шелег

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ И СТАТИЧЕСКОЙ
ЖЕСТКОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА**

**Методические указания к лабораторной работе по курсу «Технология
машиностроения»**

Минск

БНТУ

2021

Авторы: М.А. Кравчук, С.Э. Крайко, В.К. Шелег

Рецензент профессор кафедры «Технология металлов» БГАТУ, д.т.н. профессор Л.М. Акулович

Методические указания к лабораторной работе по курсу «Технология машиностроения» разработаны в соответствии с образовательным стандартом и рабочей программой учебной дисциплины «Технология машиностроения» для студентов дневной и заочной форм получения образования специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и студентов дневной формы получения образования специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств» (по направлениям).

Студенты в ходе выполнения лабораторной работы изучают вопросы устройства горизонтально-фрезерного станка, практического освоения методов определения динамической и статической жесткости горизонтально-фрезерного станка с использованием сейсмодатчика. Методические указания содержат необходимые требования по выполнению лабораторной работы, указания по проведению необходимых измерений и оформлению отчета.

Оглавление

1. Основные положения.....	4
2. Методические указания.....	8
3. Порядок выполнения работы.....	12
4. Содержание отчета.....	13
5. Контрольные вопросы.....	14
ЛИТЕРАТУРА.....	15

Определения динамической и статической жесткости горизонтально-фрезерного станка

Цель работы: Практическое освоение методов определения динамической и статической жесткости горизонтально-фрезерного станка с использованием сейсмодатчика. (Работа рассчитана на два академических часа.)

Основные положения

Динамической системой станка называют замкнутую упругую систему, в которую входят станок, приспособление, инструмент, заготовка (СПИЗ). **Жесткость системы СПИЗ** – способность сопротивляться действию деформирующих сил.

Существуют два метода экспериментального определения жесткости узлов станков:

- в процессе нагружения исследуемого узла статическими силами (**статический (расчетный) метод**) (*Статическая сила - это сила, вырабатываемая нагрузкой при отсутствии перемещений узлов станка*)
- непосредственно в процессе резания (**динамический (экспериментальный) метод**) (*Динамическая сила вырабатывается под нагрузкой в условиях перемещения узлов станка, к которым прилагается нагрузка.*)

Статическая жесткость станка определяется по следующей методике: нагружая узел (оправку, на которой закреплена фреза) и определяя величину его смещения (прогиб оправки) (рисунок 1), **рассчитывается** статическая жесткость узла по формуле:

$$j_{ст} = \frac{P_y}{y_{ст}}, \quad (1.1)$$

где - P_y радиальная составляющая силы резания, Н; $y_{ст}$ - величина смещения узла, мм.

Динамическая жесткость станка определяется в процессе резания.

$$j_{д} = \frac{P_y}{y_{д}}, \quad (1.2)$$

где - P_y радиальная составляющая силы резания, Н; $y_{д}$ - величина смещения узла, мм.

Горизонтально-фрезерный станок (например, модель 6Р83 (рисунок 1)) имеет горизонтально расположенный шпиндель. Предназначен для фрезерования всевозможных деталей из стали, чугуна и цветных металлов в условиях индивидуального и серийного производства. Конструкция станка позволяет обрабатывать винтовые и фасонные, горизонтальные и вертикальные поверхности, а также углы и пазы. Работы выполняются с помощью дисковых и цилиндрических, угловых и концевых, торцевых и фасонных фрез. Обработка, требующая винтового движения или деления возможна только с применением дополнительных приспособлений.

Отличительной особенностью станка является возможность перемещать стол как вертикально, так и горизонтально оси шпинделя. На станине станка находятся коробка скоростей и шпиндель. Коробка подач размещена на консоли, та в свою очередь перемещается по вертикальным направляющим, а оправку с инструментами поддерживает хобот (рис.1).

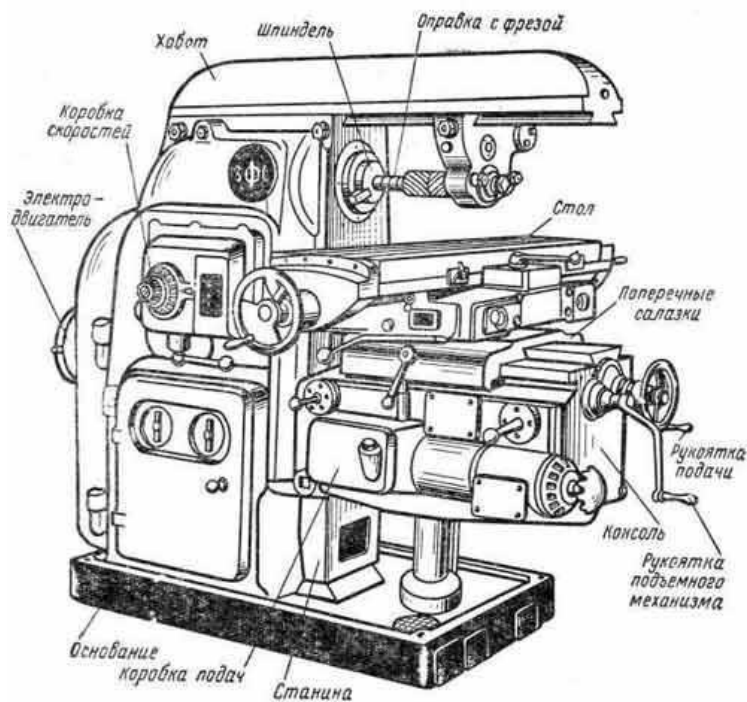


Рис.1 Основные части горизонтально-фрезерного станка 6Р83 (Горьковский завод фрезерных агрегатов)

Жесткость узлов новых металлорежущих станков достигает порядка 20 000-40 000 Н/мм. В отдельных случаях жесткость узлов изношенных и разрегулированных станков бывает ниже 10 000 Н/мм.

На рис. 2,3, 4 изображены современные горизонтально-фрезерные станки



Рис.2 Горизонтальный консольно-фрезерный станок 6K81ГФ1 (Производитель: Россия)



Рис.3 Горизонтально фрезерный станок 6Т83Г (6Р83Г) (Производитель: Россия)



Рис.4 Горизонтально-фрезерный станок с ЧПУ DMG MORI (Производитель: Россия)

Жесткость узлов, из которых состоит станок, неодинакова. С увеличением жесткости повышается точность и производительность обработки. Увеличение жесткости достигается следующими путями:

- уменьшением количества узлов в конструкции станков и приспособлений;
- предварительной затяжкой постоянно контактируемых деталей посредством резьбовых соединений;
- улучшением качества сборки узлов, тщательной пригонкой сопряженных поверхностей и регулировкой зазоров.

Жесткость горизонтально-фрезерного станка определяется жесткостью шпинделя, хобота и стола с консолью. При работе цилиндрическими фрезами узлы станка и оправка нагружаются двумя составляющими силы резания P_y и P_z (рисунок 5).

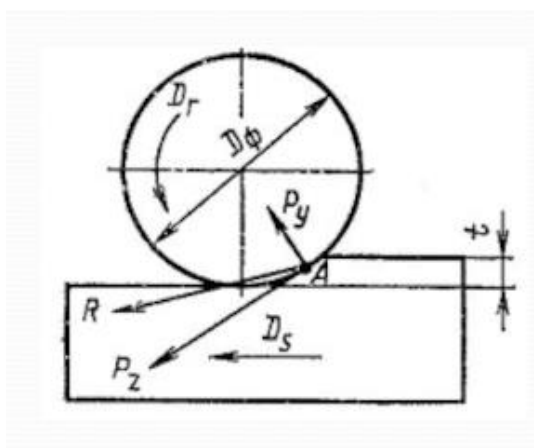


Рис. 5 Разложение равнодействующей силы резания на составляющие при цилиндрическом фрезеровании

Станок нагружают силой, совпадающей по направлению с составляющей силы резания F_y и измеряют перемещения узлов станка в том же направлении.

Жесткость станка взаимосвязана с его виброустойчивостью. Чем выше жесткость, тем выше виброустойчивость. Погрешности значительно сокращаются при оснащении станков системами адаптивного управления упругими перемещениями. Такие системы измеряют упругие перемещения и их колебания и вносят соответствующие коррективы в ход обработки, стабилизируя силу резания.

Методические указания

Рассмотрим метод определения динамической жесткости при фрезеровании ступенчатой заготовки (рис.6) в один проход.

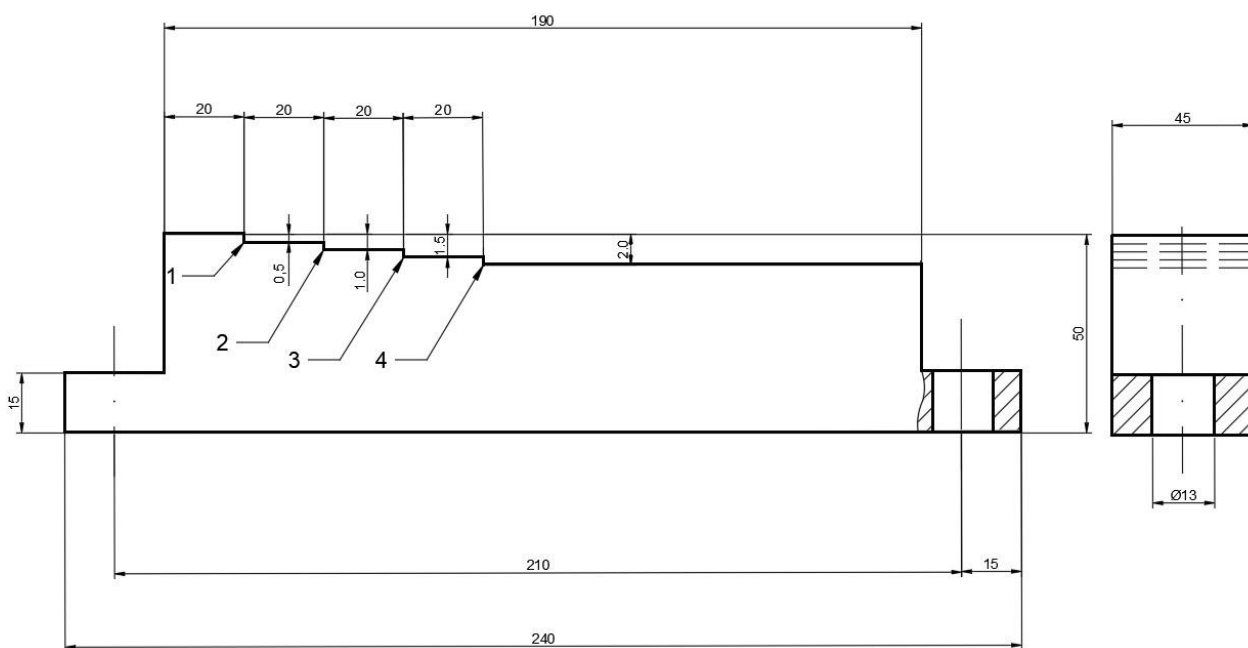


Рис.6. Заготовка

При обработке ступенчатой заготовки глубина резания последовательно увеличивается от 0,5 до 2,0 мм (позиции 1-4 рис.6), что вызывает соответствующие изменения силы резания и упругих деформаций фрезерной оправки, опор и стола станка. Величина обработанных ступеней на заготовке после ее фрезерования принимается за упругое отжатие системы СПИЗ.

На заготовке (рис. 6) имеются четыре ступени высотой 0,5 мм каждая. При фрезеровании заготовки в направлении от первой ступени к последней

соответственно увеличивается глубина фрезерования от 0,5 до 2,0 мм. Заготовка крепится на столе станка посредством двух прихватов. Фото установки детали, инструмента и сейсмодатчика на горизонтально-фрезерном станке приведена на рис. 7.

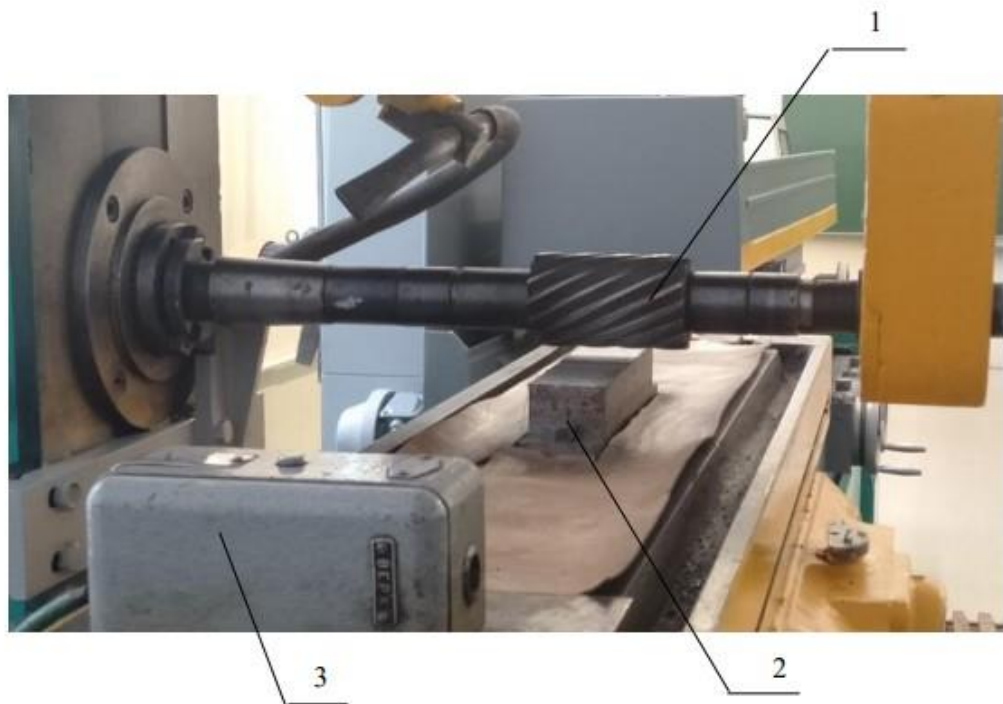


Рис.7 Фото установки детали и инструмента на станке: 1 – фреза; 2 – заготовка; 3 – сейсмодатчик

Амплитуда колебаний заготовки при фрезеровании определяется при помощи сейсмического датчика (сейсмодатчика) (рис. 8). Сейсмические датчики - это устройства, используемые для измерения сейсмических колебаний путем преобразования движения земли в измеримый электронный сигнал. Поскольку сигнал является аналоговым по своей природе, датчики должны быть связаны с блоком сбора данных, чтобы преобразовать его вывод в цифровой формат, который может быть прочитан компьютерами.



Рис.8 Общий вид сейсмодатчика

Блок-схема измерения колебаний посредством сейсмодатчика представлена на рис.8:

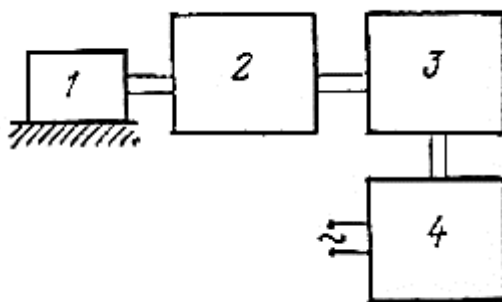


Рис.9 Блок-схема измерения амплитуды колебания заготовки при помощи сейсмодатчика:

1 – сейсмодатчик типа И 001 Г; 2 – делитель напряжения Р 003; 3 – осциллограф Н 700; 4 – выпрямитель ВСА 6-К.

Для определения динамической жесткости (экспериментальным методом в процессе работы станка) необходимо рассчитать радиальную составляющую силы резания (рисунок 5) при фрезеровании, которая определяется по формуле:

$$P_y = 0,5P_z, \quad (1.3)$$

где P_z – окружная сила резания при фрезеровании, Н.
При фрезеровании цилиндрической фрезой

$$P_z = 682t^{0,86}S_z^{0,72}zBD^{-0,86}, \quad (1.4)$$

где t – глубина фрезерования, мм; S_z – подача фрезы, мм/зуб; B – ширина фрезерования, мм; D – диаметр фрезы, мм; z – число зубьев фрезы.
Подачу на зуб фрезы (мм/зуб) определяем из выражения:

$$S_z = \frac{S_M}{zn}, \quad (1.5)$$

где S_M – подача минутная, мм/мин; n – частота вращения фрезы, об/мин;
 z – число зубьев фрезы.

Определив для каждой ступени заготовки радиальную составляющую силы резания (P_y) и высоту обработанных ступеней, можно подсчитать динамическую жесткость, определенная экспериментальным методом в процессе работы станка, Н/мм:

$$j_{D_3} = \frac{P_y}{\bar{y}_D}, \quad (1.6)$$

где \bar{y}_D – среднее значение высоты обработанных ступеней (определяем в процессе обработки), мм.

Результаты измерений (y_{iD} , \bar{y}_D) и расчета (j_{D_3}) следует свести в таблицу 1.

Тогда статическую жесткость, определенную экспериментальным методом в процессе работы станка (Н/мм), можно определять по формуле:

$$\bar{J}_{ст_3} = \bar{J}_{D_3} \mu, \quad (1.7)$$

где $\bar{J}_{ст_3}$ и \bar{J}_{D_3} – средняя статическая и средняя динамическая жесткость, определенные экспериментальным методом, Н/мм; μ – динамический коэффициент.

Динамический коэффициент можно определить опытным путем, основываясь на том, что при установившемся резании наблюдаются колебания заготовки с амплитудой, отличной от ее значения при работе станка на холостом ходу, используя сейсмический датчик. С учетом этого, динамический коэффициент определяется по формуле:

$$\mu = \frac{\Delta f_p}{\Delta f_x}, \quad (1.8)$$

где Δf_p – амплитуда колебания детали при максимальной глубине фрезерования; Δf_x – амплитуда колебания детали на холостом ходу. Эти амплитуды определяются при помощи показаний сейсмодатчика.

Статическая (теоретическая) жесткость может быть определена расчетным способом. Прежде всего, необходимо рассчитать прогиб оправки ($y_{ст_т}$, мм):

$$y_{ст_т} = \frac{10^6 P_y l_0^3}{192EI}, \quad (1.9)$$

где l_0 – расстояние между опорами, мм; E – модуль продольной упругости, Па; I – момент инерции, мм⁴.

Оправка является наименее жестким элементом горизонтально-фрезерного станка при работе цилиндрической фрезой. Прогиб оправки оказывает большое влияние на погрешность обработки.

Для применяемой в лабораторной работе оправки диаметром 27 мм момент инерции $I = 26087$ мм⁴. Модуль упругости можно принять $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па. Так как значения указанных параметров в условиях выполнения работы не меняются, то формулу для определения статического прогиба можно привести к виду (мм):

$$y_{ст.т} = 10^{-12} P_y l_0^3, \quad (1.10)$$

Значения статического прогиба оправки, рассчитанные по этой формуле ($y_{ст.т}$), также заносят в таблицу 1.

Определяем динамическую (теоретическую) жесткость, Н/мм:

$$j_{Д.т} = \frac{P_y}{y_{Д.т}}, \quad (1.11)$$

Сопоставление значений статического прогиба оправки с упругими деформациями системы, полученными экспериментально, позволяет оценить, что оправка является наименее жестким звеном при обработке заготовок на горизонтально-фрезерном станке.

Порядок выполнения работы

1. Записать название и цель работы.
2. Начертить эскиз заготовки (рис.6).
3. Записать режимы резания, значения которых выдает преподаватель ($D_{фр}$ (диаметр фрезы), n (число оборотов), z (число зубьев фрезы), $S_{мин}$ (минутная подача), l_0 (длина оправки), B (ширина фрезерования).
4. Рассчитать подачу на зуб по формуле (1.5).
5. Начертить таблицу 1.

Таблица 1

t мм	$P_y, Н$	Прогиб оправки $y_{ст.т}, мм$	Высота обработанных ступеней $y_i, мм$			Среднее значение $y_{i ср}, мм$	Динамическая жесткость $j_{Д.т}, Н/мм$
			Номер измерения				
			1	2	3		
		Результаты расчета	Результаты эксперимента				
0,5							
1,0							
1,5							
2,0							
Среднее значение динамической жесткости $j_{Д.т ср}$							

6. Рассчитать P_y по формуле 1.3. Результаты расчетов занести в таблицу 1.

7. Рассчитать прогиб оправки $y_{ст.р}$, м по формуле 1.10. Результаты расчетов занести в таблицу 1.
8. С помощью инженера кафедры установить заготовку на столе станка и фрезу на оправке.
9. С помощью инженера кафедры установить заданные режимы фрезерования на станке.
10. С помощью инженера кафедры настроить станок на выдерживаемый размер по высоте нижней площадки заготовки.
11. С помощью инженера кафедры фрезеровать заготовку напроход с охлаждением и на каждой ступени фрезерования фиксировать показания осциллографа сейсмодатчика определив Δf_p и Δf_x .
12. С помощью инженера кафедры протереть насухо обработанную поверхность заготовки ветошью.
13. С помощью инженера кафедры измерить индикатором высоту обработанных ступеней на заготовке. Результаты измерений занести в таблицу 1 .
14. Найти среднее значение высоты обработанных ступеней $\overline{y_{cp}}$ и занести в таблицу 1 .
15. Определить экспериментальную динамическую жесткость в каждой строчке по формуле 1.6 и занести в таблицу 1 .
16. Найти среднее значение экспериментальной динамической жесткости и результат занести в таблицу 1 .
17. По формуле 1.8 определить динамический коэффициент μ .
18. По формуле 1.7 определить экспериментальную среднюю статическую жесткость $\overline{J_{ст.э.}}$.
19. Используя формулу 1.11 рассчитать теоретическую динамическую жесткость для четырех значений статического прогиба оправки.
20. Найти среднее значение теоретической динамической жесткости.
21. По формуле 1.8 определить динамический коэффициент μ .
22. По формуле 1.7 определить теоретическую среднюю статическую жесткость $\overline{J_{ст.теор.}}$.
23. Построить график зависимости экспериментальной динамической жесткости и теоретической динамической жесткости от P_y , Н. Отметив на них средние значения.
24. Записать вывод.
25. Составить отчет.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Содержание задания, режимы резания.
3. Эскиз обрабатываемой заготовки.
4. Определение динамической жесткости и прогиба оправки станка.

5. Определение динамического коэффициента.
6. Расчет статической жесткости.
7. График зависимости экспериментальной динамической жесткости и теоретической динамической жесткости от P_y , H .
8. Вывод.

Контрольные вопросы:

1. Как определяется динамическая жесткость системы СПИЗ?
2. Как определить радиальную составляющую силы резания P_y ?
3. От каких факторов зависит прогиб оправки горизонтально-фрезерного станка?
4. Объяснить сущность понятия «динамический коэффициент».
5. Из каких элементов состоит система регистрации амплитуд колебаний заготовки при помощи сейсмодатчика?
6. Как в данной работе определяется статическая жесткость системы СПИЗ?

ЛИТЕРАТУРА

1. Шпура Г., Штеферлет.: Справочник по технологии резания материалов; Пер. с нем. под ред. Соломенцева Ю.М. -М.: Машиностроение. 2005 - 688.с.
2. Ординарцев И.А., Филлипов Г.В, Шевченко А.Н.: Справочник инструментальщика; Под общ. ред. Ординарцева И.А. - Л.: Машиностроение, 2007-846 с.
3. http://metallischekiy-portal.ru/articles/frezeri/vidi_frezernix_stankov
4. <http://gugn.ru/work/421755/Frezernaya-obrabotka>