

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра технической эксплуатации автомобилей

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе
*«Моделирование статических и динамических характеристик
шпиндельных узлов»*

*по дисциплине «Математическое моделирование и САПР
процессов резания, станков и инструментов» для студентов
специальности Т.03.01 «Технология, оборудование и автоматизация
машиностроения»*

Брест 2000

УДК 621.7/9+681.3

Методические указания к лабораторной работе «Моделирование статических и динамических характеристик шпиндельных узлов» по дисциплине «Математическое моделирование и САПР процессов резания, станков и инструментов» для студентов специальности Т.03.01 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроения» содержат руководство для выполнения лабораторной работы и могут быть использованы при выполнении курсового проекта по данной дисциплине.

Составители: С.В. Монтик, доцент, к.т.н.
Я.А. Акулич, старший преподаватель

Рецензент: В.Н. Павлюк, зам. начальника машиностроительного комплекса
Брестского электролампового завода

© Брестский государственный технический университет 2000 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ

Цель работы

1. Изучить методику моделирования шпиндельных узлов при использовании метода конечных элементов
2. Приобрести практические навыки по расчету статических и динамических характеристик шпиндельных узлов с применением комплекса программ **SPINCH**

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В ряде случаев динамическое качество станков определяется в основном параметрами шпиндельных узлов. К таким станкам относятся, например, токарные (особенно при обработке в патроне), координатно-расточные (при работе жесткой борштангой), внутришлифовальные, расточные и др. Вместо расчета динамических характеристик всего станка в таких случаях можно ограничиться расчетом характеристик только шпиндельного узла (ШУ).

Расчет характеристик ШУ возможно проводить по нескольким методикам. В случае ШУ с несколькими опорами или несколькими подшипниками в одной опоре (статически неопределимой) часто используют метод начальных параметров в матричной формулировке, называемый методом переходных матриц или методом продолжения. Возможно также использование метода конечных элементов (МКЭ), который и рассматривается в данной работе. Шпиндель представляют в виде невесомой упругой балки на упругодемпфирующих опорах с некоторым количеством сосредоточенных масс.

Автоматизированная система расчета характеристик ШУ реализуется с помощью комплекса программ **SPINCH**, разработанного в МГТУ "Станкин".

2. НАЗНАЧЕНИЕ КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ

Комплекс программ (КП) **SPINCH** предназначено для расчета статических и динамических характеристик шпиндельных узлов (ШУ) станков как упругих систем. Под ШУ понимается подсистема шпиндель - опоры - приспособление - деталь (инструмент). КП основан на использовании метода конечных элементов и модального анализа, применительно к упругим системам станков.

2.1. Основные элементы расчетной схемы

В расчетную схему ШУ могут входить следующие элементы:

1. Упругие стержни цилиндрической формы, характеризуются распределенной массой и изгибной жесткостью; относительное рассеяние энергии колебаний в их материале принято равным 0.015, что соответствует стали;
2. Невесомые упруго-диссипативные пружины (опоры ШУ, соединения); характеризуются радиальной, осевой и угловой жесткостью, относительный коэффициент рассеивания колебаний 0,2...0,4;
3. Сосредоточенные массы - осесимметричные твердые тела (патроны, шестерни, шкивы и др.), характеризуются массой и моментом инерции.

Центры тяжести сосредоточенных масс, точки размещения пружин, точки, где скачком изменяются геометрические характеристики стержней, точки приложения нагрузки являются узловыми. Упругие элементы расчетной схемы соединяются в узловых точках.

Точность полученных результатов определяется точностью исходных данных и качеством расчетной схемы. Поскольку в настоящее время не всегда имеется надежная информация по контактной жесткости, жесткости подшипников, демпфированию, получение абсолютно точных результатов расчетным путем невозможно. Однако, проводя расчеты в виде сравнительного анализа вариантов, конструктор получает не менее ценную информацию, позволяющую ему принять обоснованное решение о выборе лучшего варианта конструкции ШУ.

2.2. Теоретические основы моделирования ШУ

Статические характеристики ШУ находят из уравнения статики:

$$\{R\} = [C]\{q\}, \quad (1)$$

где $\{R\}$ - вектор внешних воздействий (силы, моменты); $\{q\}$ - вектор обобщенных координат (в данном случае - перемещения по осям X, Z и угол поворота относительно оси Y - $\varphi(y)$); $[C]$ - матрица жесткости системы ШУ.

Расчет динамических характеристик ШУ проводят на основе уравнения:

$$[A]\{q''\} + [B]\{q'\} + [C]\{q\} = \{F(t)\} \quad (2)$$

где $\{q''\}, \{q'\}$ - обобщенные векторы ускорения и скорости; $\{F(t)\}$ - вектор внешних воздействий; $[A]$ - матрица сосредоточенных и распределенных масс системы; $[B]$ - матрица демпфирования.

Для определения собственных частот полагают внешние воздействия равными нулю, а демпфированием пренебрегают из-за его малости.

Тогда (2) примет вид:

$$[A]\{q''\} + [C]\{q\} = \{0\} \quad (3)$$

Используя выражение $\{q\} = \{q_0\} \sin \omega(t-t_0)$, где $\{q\}$ - вектор обобщенных координат в начальный момент, времени t_0 , ω - частота, преобразуем (3) в форму:

$$(-\omega^2[A] + [C])\{q_0\} = \{0\} \quad (4)$$

Из уравнения (4) находят собственные частоты ω_j .

На практике важное значение имеют первая и вторая собственные частоты. В соответствии с Государственным стандартом для станков нормальной точности первая (низшая) собственная частота должна быть не меньше **500-600 Гц**, а для станков повышенной точности - **1000-1300 Гц**.

КП позволяет проводить автоматизированный расчет статических и динамических характеристик ШУ при наличии об инерционных, диссипативных и жесткостных параметрах, а также анализ влияния компоновки и параметров ШУ на эти характеристики.

При расчете статических характеристик ШУ определяются:

1) осевые и радиальные упругие деформации, а также углы поворота сечений шпинделя в узловых точках от заданных нагрузок и веса шпинделя:

2) реакции в опорах и стыках ШУ.

При расчете динамических характеристик ШУ определяются:

- 1) собственные частоты;
- 2) нормальные формы колебаний в заданном частотном диапазоне;
- 3) значения модальных коэффициентов демпфирования;
- 4) амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) ШУ по выбранной координате как от силы резания, так и от силы (момента), приложенной в любой узловой точке расчетной схемы ШУ.

Собственные формы колебаний (моды) ШУ - это формы колебаний, показывающие положение упругой линии оси шпинделя на соответствующих собственных частотах. Подставляя в (4) значения собственных частот можно найти ряд векторов собственных форм колебаний, которые показывают положение узловых точек на соответствующей собственной частоте. Для сравнения векторов собственных форм колебаний между собой производится их нормирование, в результате чего получаем **нормальные формы колебаний** - безразмерные величины. Нормальные формы колебаний позволяют выбрать оптимальное положение на оси шпинделя дополнительной массы или опоры, при котором их влияние на собственные частоты ω_k будет наибольшим. Чем больше расстояние от дополнительной массы или опоры до узла k -й формы колебаний (формы колебаний на k -й собственной частоте), тем больше их влияние на k -ю собственную частоту. Под узлом в данном случае понимается точка пересечения упругой оси шпинделя с осью X на k -й собственной частоте.

Влияние изменения массы на k -ю собственную частоту будет тем сильнее, чем больше относительная величина амплитуды колебаний этой массы при k -й форме колебаний.

При построении АЧХ находят зависимость амплитуды податливости от текущей частоты (таблица 9 приложения Б). АЧХ позволяет определить нежелательные диапазоны рабочих частот (т.е. исключить явление резонанса - совпадение собственных и рабочих частот). Для исключения явления резонанса принимают область нежелательных частот от $0,7\omega_k$ до $1,3\omega_k$, где ω_k - собственная k -я частота.

Для избежания резонанса при невозможности изменить рабочий диапазон частот корректируют значения собственных частот путем изменения конструкции шпиндельного узла. Изменение упругих и весовых характеристик ШУ влияет на собственные частоты следующим образом.

1. Увеличение массы или прибавление новых масс путем увеличения габаритов или введения дополнительного колеса понижает все собственные частоты и наоборот. Влияние изменения массы на k -ю собственную частоту будет тем сильнее, чем больше относительная величина амплитуды колебаний этой массы при k -й форме колебаний.

2. Увеличение жесткости шпинделя (вала) или введение новых жесткостей (опор) будет противоположно увеличению массы и повысит собственные частоты. Увеличение диаметра шпинделя повышает его жесткость, но при этом также увеличивается его масса. Для двухопорных шпинделей значения податливости опор существенно влияют только на первую (низшую) собственную частоту.

2.3. Условия применения и структура комплекса программ

КП реализовано на IBM/PC под операционной системой MS-DOS и состоит из четырех программных модулей:

SPINCH_E.EXE - расчетный модуль;

SGRA1.EXE - графический модуль результатов статического расчета;

SGRA2.EXE - графический модуль результатов расчета форм колебаний;

SGRA3.EXE - графический модуль результатов расчета АЧХ.

Данные модули занимают 350 КБайт на магнитном носителе.

При работе на диске создаются файлы с исходными данными и файлы с результатами расчетов с именами:

SREZ1.LST, SREZ2.LST, SREZ3.LST - результаты для печати;

SREZ1.DAT, SREZ2.DAT, SREZ3.DAT - результаты для просмотра;

SGRA1.DAT, SGRA2.DAT, SGRA3.DAT - результаты для графических модулей.

Предусмотрена возможность записи и считывания пользователем исходных данных из файлов на диске с любым именем.

КП расположен на сетевом диске **S:\SAPR\SPIND**.

2.4. Работа комплекса программ.

2.4.1. Подготовка исходных данных.

Данные по расчетной схеме - топология и параметры заносятся в режиме "Данные" в специальные таблицы.

В таблицу "Общие сведения" заносятся следующие данные:

- количество узловых точек;
- количество упругих элементов (стержни + пружины);
- количество пружин;
- количество сосредоточенных масс;
- количество точек приложения сил;
- учет веса стержней (1-да;0-нет);
- максимальная исследуемая частота [Гц] (верхняя граница исследуемого частотного диапазона).

Таблица "Соединения и пар. элементов" описывает топологию расчетной схемы ШУ и сведения о параметрах упругих элементов. Каждая строка соответствует одному упругому элементу. В первый столбец заносят код элемента из 4-х возможных:

- 1- пружинный элемент (стыки);
- 2- пружинный элемент с заделанным концом (опоры);
- 3- стержневой элемент (тело ШУ);
- 4- стержневой элемент с заделанным концом (консоль).

Во второй и третий столбцы заносят номера начальной и конечной узловых точек упругих элементов. Если элемент имеет заделанный конец, то номер заделанной конечной точки должен быть равен нулю. Начальная точка не может быть нулевой.

Для пружинного элемента вводятся значения его жесткостей по осям X (вдоль оси ШУ) и Z (перпендикулярно оси ШУ) в четвертом и пятом столбцах и угловой жесткости в шестом столбце, в седьмом столбце - относительный коэффициент рассеяния энергии колебаний. Для стержневого элемента в четвертом и пятом столбцах вводятся значения наружного и внутреннего диаметров, в шестом - длина стержня, в седьмом столбце - относительный коэффициент рассеяния энергии колебаний в материале шпинделя (если равен 0.00 то считается, что ШУ изготовлен из стали и по умолчанию принимается 0.015).

В таблицу "Инерционные характеристики" записываются инерционные характеристики, сосредоточенных в узлах масс. В первый столбец заносят номер узловой точки, во второй столбец - величину сосредоточенной в узле массы. В третий - величину момента инерции

сосредоточенной массы относительно оси Y. Момент инерции (кг*м²)

находят:
$$I_y = \frac{\pi d^4 b \rho}{32},$$

где d - диаметр элемента (зубчатое колесо, патрон), м

b - длина элемента, м

ρ - плотность стали, ρ= 7,8*10³ кг/м³

В таблице "**Характеристики нагружения**" задаются нагрузки для проведения статического расчета. Строки в этой таблице соответствуют силовому воздействию в одной узловой точке. Статическая деформация ШУ рассчитывается от нагрузки, приложенной одновременно во всех точках приложения сил, а также, при необходимости, с учетом веса стержневых элементов. В первом столбце задается номер узловой точки приложения нагрузки. Величины нагрузок по осям X и Z задаются в третьем и четвертом столбцах, в пятом столбце задается изгибающий момент относительно оси Y. Если конкретное значение нагрузок неизвестно, то для оценки жесткости ШУ в соответствующих узлах по требуемым координатам прикладывается единичная нагрузка. При расчете амплитудной-частотной характеристики (АЧХ) точка и координата приложения нагрузки и определения перемещения вводится в диалоге.

В таблицу "**Координаты точек**" заносятся координаты всех точек. В первый столбец координаты по оси X, во второй - по Z.

Эта информация необходима для построения расчетной схемы.

2.4.2. Запуск комплекса программ:

Нужно с помощью **Volkov Commander** скопировать каталог **SPIND** с диска **S:\SAPR** на диск **R:**, а затем зайти в каталог **SPIND**, выбрать файл **SPINCH_E.EXE** и нажать клавишу "**ВВОД**". Для возможности печати на принтере содержимого экрана с графическими результатами расчета нужно запустить программу **GRAPHICS.COM** перед запуском программы **SPINCH_E.EXE**.

2.4.3. Управление комплексом программ.

Функционирование КП построено на принципе диалога с пользователем посредством управляющих меню. Выбор режимов в меню осуществляется клавишами перемещения курсора, а активизация выбранного действия - нажатием клавиши - **<ENTER>**.

Ввод исходных данных в соответствующих меню производится в текущем поле (выделенном черным фоном), перемещение текущего поля с помощью клавиш управления курсора.

Клавиши **<ESC>** и **<F10>** обеспечивают передачу управления в меню более высокого уровня.

Клавиша <F1> обеспечивает вывод подсказки по работе в текущем окне.

Клавиша <F3> обеспечивает вывод числовых значений из текущего окна на принтер.

Клавиша <Print Screen> обеспечивает вывод содержимого экрана на принтер.

2.4.4. Решение задачи.

Для того, чтобы начать работать с КП нужно запустить его на выполнение (см п.2.4.2).

Перед Вами появится главное меню, представленное в виде окна, оно предоставляет следующие возможности:

1. "**Данные**" - работа с исходными данными;
2. "**Расчет**" - провести расчет;
3. "**Результаты**" - просмотреть результаты расчета;
4. "**Выход**" - конец работы ПО, выход в операционную систему.

Меню 1. "**Данные**" предоставляет следующие возможности:

- 1.1 "**Режим работы**" - выбор режима работы с данными;
- 1.2 "**Общие сведения**" - ввод таблицы 1;
- 1.3 "**Соединения и пар. элементов**" - ввод таблицы 2;
- 1.4 "**Инерционные характеристики**" - ввод таблицы 3;
- 1.5 "**Характеристики нагружения**" - ввод таблицы 4;
- 1.6 "**Координаты точек**" - ввод таблицы 5;

КП осуществляет проверку корректности ввода исходных данных, как по топологии, так и по параметрам расчетной схемы.

При вводе некорректных данных по выходе из таблицы появляется предупреждение об ошибке. Дальнейшая работа возможна только при исправлении ошибок. Пример заполнения таблиц 1-5 приведен в приложении.

Меню 1.1 "**Режим работы**" предоставляет следующие возможности:

1.1.1 "**Сохранить данные в файле**" - записать исходные данные из памяти в файл на диске. Для этого необходимо ввести имя файла;

1.1.2 "**Считать данные из файла**" - считать исходные данные из файла на диске в память. Для этого необходимо ввести имя файла;

1.1.3 "**Вывод данных на печать**" - получить копию исходных данных на бумаге.

Меню 2. "**Расчет**" предоставляет следующие возможности:

2.1 "**Статический**" - расчет статических характеристик (см. приложение Б табл.6).

2.2 "**Динамический**" - расчет динамических характеристик.

Меню 2.2 "Динамический" предоставляет следующие возможности:

2.2.1 "Соб. частоты и формы колебаний" - расчет собственных частот, нормальных форм колебаний и значений модальных коэффициентов демпфирования ШУ в заданном частотном диапазоне (см. приложение Б табл.8).

2.2.2 " А Ч Х " - расчет АЧХ ШУ по любой выбранной координате как от силы резания, так и от силы (момента), приложенной в любой заданной узловой точке ШУ (см. приложение Б табл. 9).

Меню 3. "Результаты" предоставляет следующие возможности:

3.1 "Статическая деформация ШУ" - просмотреть результаты статического расчета;

3.2 "Соб. частоты и формы колебаний" - просмотреть результаты расчета собственных частот и форм колебаний;

3.3 "А Ч Х" - просмотреть результаты расчета АЧХ.

Меню 3.1, 3.2, 3.3 предоставляют следующие возможности:

3.1.1 "Цифровой" - просмотреть результаты расчета в цифровом виде;

3.1.2 "Графический" - просмотреть результаты расчета в графическом виде.

Меню 4. "Выход" предоставляет следующие возможности:

4.1 "Закончить работу" - завершить работу КП, выйти в операционную систему;

4.2 "Продолжить работу" - продолжить работу с КП, выйти в головное меню.

3. ПРИМЕР РАСЧЕТА

Задание: Оценить жесткость и виброустойчивость шпиндельного узла расточной бабки агрегатного станка (рисунок 1 приложение А) с использованием КП SPINCH.

Исходные данные

Размеры ШУ (рис. 2, приложение А)

Диаметры, мм

D1	D2	D3	D4	D5	D6	D _{отв}
120	95	950	90	80	60	50

Длины, мм

L1	L2	L3	L4	L5	L6
50	40	100	100	90	60

$$L_{отв} = L1 + L2 = 90 \text{ мм}$$

Параметры зубчатого колеса: $Z = 40$, $b = 30$ мм, $m = 3$ мм.

Сила резания $P_z = 3,6$ кН.

Сила от приводного элемента $Q = 1$ кН.

Жесткости опор: в передней опоре установлены двухрядный цилиндрический роликоподшипник с коническим отверстием типа 3182100 (радиальная жесткость 2,8 кН/мкм) и 2 упорных подшипника типа 8000 (осевая жесткость 1,0 кН/мкм); в задней опоре установлены 2 радиально – упорных шарикоподшипника типа 36000 (радиальная жесткость и осевая жесткость - 1,0 кН/мкм и 0,5 кН/мкм).

Частота вращения ШУ, мин^{-1} : 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250.

Порядок расчета

1. Выполняем эскиз и составляем расчетную схему ШУ с указанием приложенных сил.

Тело шпинделя разбито на 6 упругих элементов, ему принадлежат узловые точки с 1 по 7. В 1-й узловой точке на задней консоли шпинделя расположена сосредоточенная масса, которая моделирует свойства зубчатого колеса. Подшипники в передней и задней опорах моделируются пружинами 6 и 3 соответственно.

2. Готовим исходные данные для расчета и заполняем таблицы 1 – 5 (приложение Б).

Рассчитываем момент инерции сосредоточенной массы зубчатого колеса относительно оси Y:

$$I_y = \frac{\pi(d^4 - D_6^4)b\rho}{32}, \text{ где } d = m*Z - \text{ делительный диаметр}$$

зубчатого колеса, D_6 – диаметр отверстия в зубчатом колесе.

$$I_y = \frac{3,14 * ((0,003 * 40)^4 - 0,06^4) * 0,03 * 7,8 * 10^3}{32} = 0,0045 \text{ кг} * \text{ м}^2$$

$$\text{Масса зубчатого колеса } m = \rho * V, V = \frac{\pi * (d^2 - D_6^2)}{4} * b;$$

$$m = \frac{3,14 * ((0,003 * 40)^2 - 0,06^2) * 0,03 * 7,8 * 10^3}{4} = 1,98 \text{ кг}.$$

При задании жесткостей и сил учитываем, что 1 даН = 10Н. Относительный коэффициент рассеяния энергии колебаний: для упруго диссипативных пружин – от 0,2 до 0,4; для стержней – 0,015. Максимальная исследуемая частота 1000 Гц. В табл.5 координаты узлов по оси X указываются нарастающим итогом, т.е. 1 узел – $X = 0$ мм, 2 узел – $X = L_6 = 60$ мм, 3 узел – $X = L_6 + L_5 = 60 + 90 = 150$ мм. и т.д. Координата $Z = 0$.

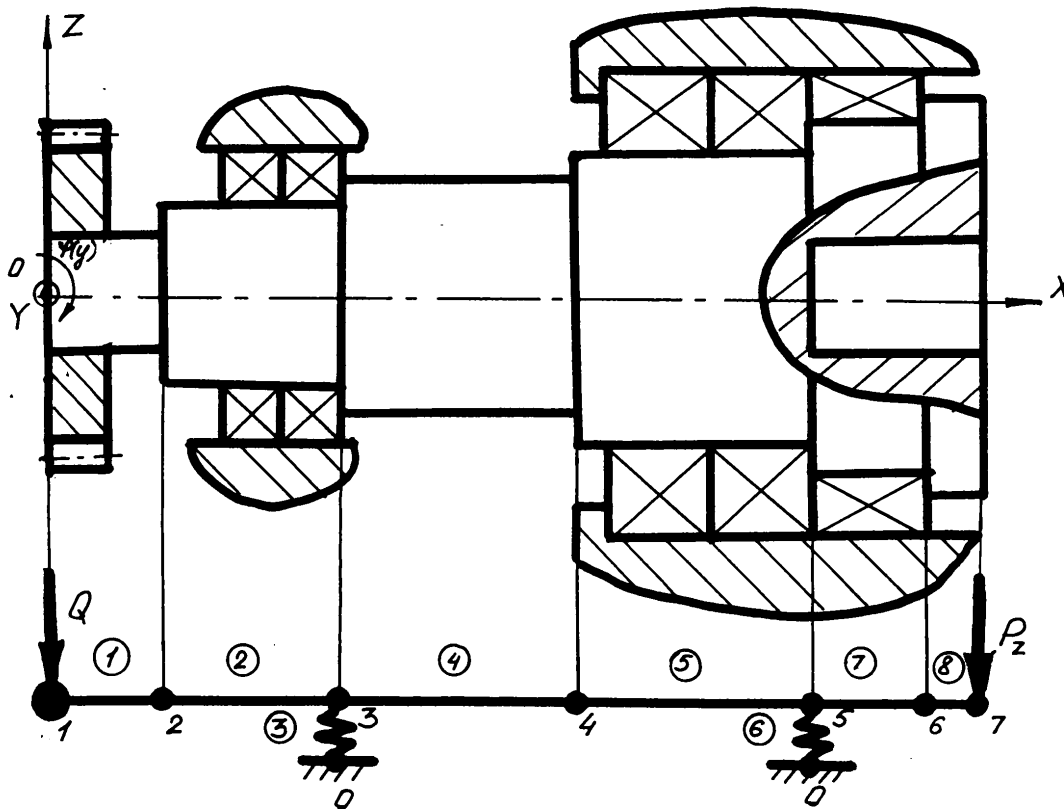


Рисунок 1 – Расчетная схема ШУ

3. Выполняем расчет статических и динамических характеристик ШУ. Результаты приведены в таблицах 6-9 и рис. 1, 2, 3 приложения А.

При расчете АХЧ (таблица 9) податливость определяется по координате Z на переднем конце шпинделя в точке приложения силы резания, т.е. в 7 узле.

4. Определяем жесткость и виброустойчивость ШУ.

Жесткость ШУ станков нормальной точности должна быть не ниже 250 Н/мкм, а для специальных – до 500 Н/мкм.

Определяем жесткость данного ШУ: (Н/мкм) $j = \frac{P_z}{\delta}$, где P_z – сила резания, приложенная к переднему концу шпинделя (узел 7), Н, δ – перемещение переднего конца шпинделя (равна деформации по оси Z в 7 узловой точке, таблица 7), мкм. $J = \frac{3600}{6.22} = 578,8 \frac{Н}{мкм}$.

Жесткость ШУ находится в допустимых пределах. Для увеличения жесткости ШУ необходимо: 1) увеличить диаметр шпинделя, что увеличивает его жесткость на изгиб и жесткость подшипников, 2) уменьшить межопорное расстояние, 3) установить подшипники другого типа с большей жесткостью.

По результатам расчета определяется статическая деформация шпиндельного узла в узловых точках (см. таблицу 6 приложения Б). Положение упругой линии оси шпинделя под нагрузкой изображено на рисунке 1 приложения Б.

Реакции в опорах ШУ (табл. 7) позволяют рассчитать его на прочность, а подшипники ШУ – на долговечность.

Собственные частоты ШУ равны: (таблица 8, Приложение Б): 898,28 Гц, 1271,39 Гц, 1989,02 Гц.

Определяем вынужденные частоты ШУ. При устойчивом процессе резания причинами вынужденных колебаний являются дисбаланс шпиндельного узла, погрешности изготовления и установки зубчатой передачи, погрешности в подшипниках. Так как ШУ вращается с частотами n_i , то частоты вынужденных колебаний из-за дисбаланса шпинделя равны $f_i = \frac{n_i}{60}, Гц$. Погрешности шага колес являются причиной ударов в момент входа пары зубьев в зацепление и выхода из него, т.е. ударов с зубцовой частотой $f_{Zi} = \frac{n_i z}{60}, Гц$.

Найденные значения вынужденных частот сводим в таблицу 1.

Таблица 1 – Вынужденные частоты колебаний ШУ

	в герцах								
f_i	3.33	4.17	5.25	6.7	8.3	10.5	13.3	16.7	20.8
f_{Zi}	199.8	252	315	402	498	630	798	1002	1248

Для исключения явления резонанса принимают область нежелательных частот от $0,7\omega_k$ до $1,3\omega_k$, где ω_k - собственная k -я частота.

Область нежелательных частот : для первой собственной частоты - от 628,8 Гц до 1167,8 Гц, для второй собственной частоты - от 890 Гц до 1652,8 Гц. Вынужденные частоты попадают в область нежелательных частот, поэтому возможно явление резонанса на 1 и 2 собственных частотах. Для исключения резонанса увеличиваем собственные частоты ШУ за счет увеличения жесткости шпинделя (вала) или введения новых жесткостей (опор) .

На практике важное значение имеет отсутствие резонанса на 1 и 2 собственных частотах, т.к. на этих частотах податливость и амплитуда колебаний ШУ максимальны.

Нормальные формы колебаний ШУ изображены на рисунке 2 приложения Б.

По результатам расчета строится амплитудно-частотная характеристика ШУ (см. рисунок 3 приложения Б), которая позволяет

определить амплитуду податливости ШУ в зависимости от частоты вынужденных колебаний.

4.ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1.Изучить содержание п.1, 2, 3. Особое внимание уделить приведенному примеру расчета.
2. Ознакомиться с работой комплекса программ **SPINCH**
3. Составить расчетную схему ШУ.
4. Подготовить исходные данные для расчета (Приложение Б, табл.1-5).
5. Выполнить расчет и распечатать исходные данные и результаты расчета.
6. Сравнить жесткость ШУ с допускаемой.
7. Проверить ШУ на возможность резонанса, для чего сравнить собственные и рабочие частоты ШУ.
8. В случае низкой жесткости шпинделя и возможности резонанса дать рекомендации по изменению конструкции ШУ.
9. Подготовить отчет.

5.СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Тема, цель работы.
2. Исходные данные.
3. Эскиз ШУ.
4. Расчетная схема ШУ.
5. Расчет параметров ШУ, необходимых для работы с программой SPINCH (сосредоточенные массы, моменты инерции, жесткости опор).
6. Распечатка исходных данных и результатов расчета (таблицы и графики).
7. Анализ характеристик ШУ (см."4.Порядок выполнения работы", п.6-8).
8. Предложения по изменению конструкции ШУ (в случае необходимости)

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОС

1. Запишите уравнения для расчета статических и динамических характеристик ШУ.
2. Что такое собственные формы колебаний ШУ?
3. Что такое нормальные формы колебаний ШУ?
4. Последовательность построения АЧХ.
5. Способы изменения собственных частот ШУ.
6. Перечислите основные элементы расчетной схемы, дайте их характеристику.
7. Какой должна быть первая собственная частота станков нормальной и повышенной точности ?

ЛИТЕРАТУРА

1. Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных вузов/Под ред. В.Э.Пуша.-М.:Машиностроение,1985-2560.,ил.
2. Кудинов В.А. Динамика станков.-М.:Машиностроение,1967.
3. Автоматизированная система расчета статических и динамических характеристик шпиндельных узлов. Руководство пользователя./ МГТУ "Станкин". - М.,1990.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

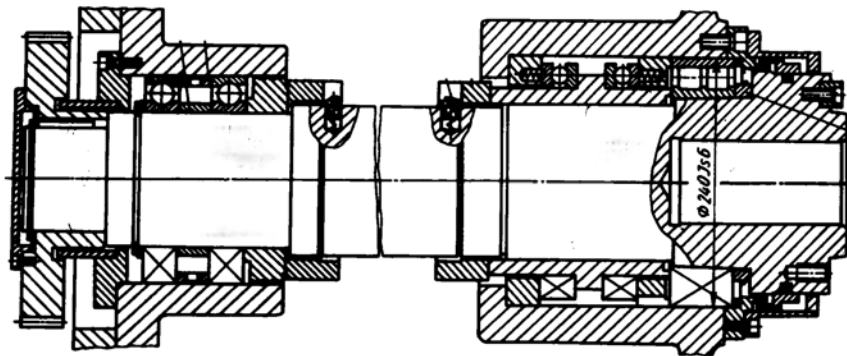


Рисунок 1- Шпиндельный узел расточной бабки агрегатного станка

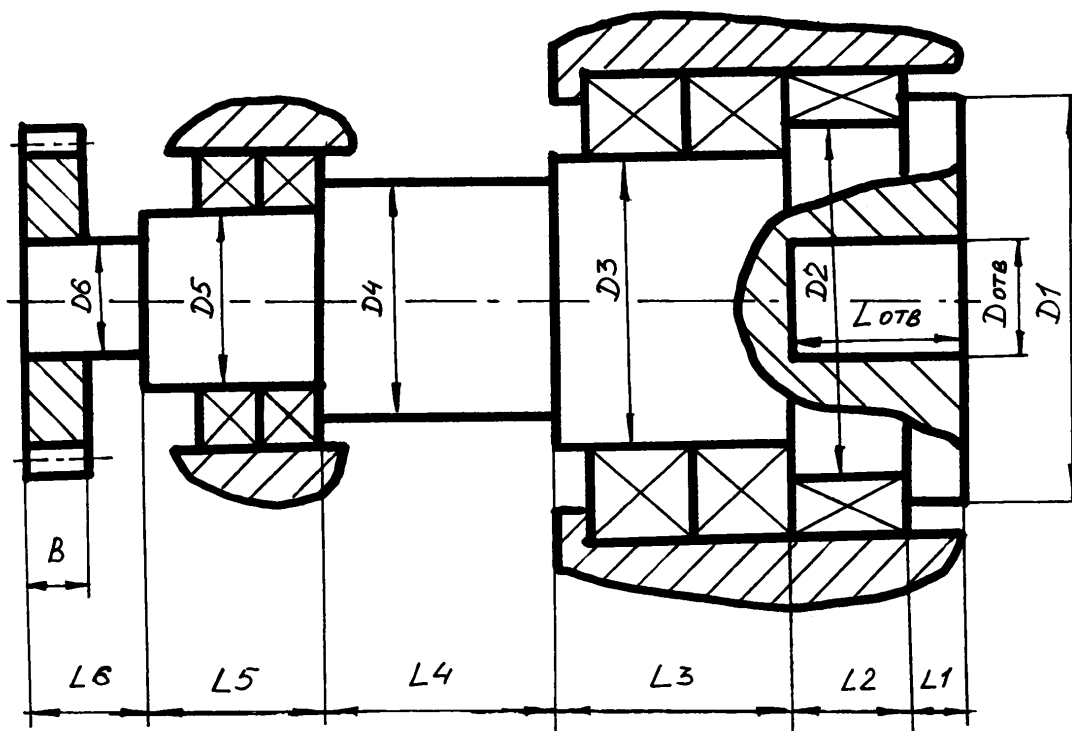


Рисунок 2 – Эскиз шпиндельного узла со схемой расположения размеров