



Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

Методические указания

**В.В. Дубинин, Ю.Н. Жигулевцев,
В.В. Витушкин**

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ
ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС
«ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ
МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
С ОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ СВОБОДЫ»
ТМл 08М**

Издательство МГТУ имени Н.Э. Баумана

В.В. Дубинин, Ю.Н. Жигулевцев, В.В. Витушкин

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ
ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС
«ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ
МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
С ОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ СВОБОДЫ»
ТМл 08М

*Методические указания
к выполнению лабораторной работы
по курсу «Теоретическая механика»*

Под редакцией *В.В. Лапина*

Москва

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана

2005

УДК 531.38

ББК 22.213

Д79

Рецензент *А.В. Конаев*

Дубинин В.В., Жигулевцев Ю.Н., Витушкин В.В.

Д79

Автоматизированный лабораторный комплекс «Вынужденные колебания механической системы с одной степенью свободы» ТМл 08М: Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Теоретическая механика» / Под ред. В.В. Лапшина. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. — 20 с.: ил.

Приведено описание лабораторного комплекса, предназначенного для исследования с применением ПЭВМ вынужденных колебаний механической системы с одной степенью свободы. Проведен теоретический анализ и экспериментальное исследование работы лабораторной установки, дано описание методики и порядка выполнения лабораторной работы.

Для студентов 2-го курса, обучающихся по машиностроительным и приборостроительным специальностям.

Ил. 11.

УДК 531.38

ББК 22.213

1. ОПИСАНИЕ КОМПЛЕКСА

Лабораторный комплекс «Вынужденные колебания механической системы с одной степенью свободы» предназначен для демонстрации и исследования характеристик вынужденных колебаний твердого тела, вращающегося вокруг неподвижной оси. С помощью комплекса ТМл 08М можно наблюдать и анализировать особенности движения механических систем с одной степенью свободы, а также получать амплитудно-частотную (АЧХ) и фазо-частотную (ФЧХ) характеристики вынужденных колебаний.

Комплекс состоит из лабораторного стенда ТМл 08М и персональной ЭВМ, связанных между собой интерфейсным кабелем. Стенд ТМл 08М (рис. 1) включает электромеханическую установку и блок управления, соединенные между собой кабелем. ПЭВМ оснащена интерфейсной платой для аналого-цифрового преобразования и ввода сигналов с датчиков стенда, а также программным обеспечением.

Установка приводится в движение электродвигателем, закрепленным на неподвижном основании. Вращение вала электродвигателя через муфту и червячный редуктор передается кривошипному механизму с регулируемым эксцентриситетом. Кривошип через тягу соединен с рычагом, который установлен на неподвижной горизонтальной оси и может совершать вокруг этой оси вращательно-колебательные движения по закону, близкому к синусоидальному. Соосно рычагу на вращающемся валу, установленном в опорах с шарикоподшипниками, закреплен твердый диск. Рычаг снабжен кронштейном, с которым жестко соединен внешний конец спиральной пружины. Внутренний конец этой пружины закреплен на валу твердого диска. Наличие кинематической связи между рычагом и валом через упругий элемент — спиральную пружину — обеспечивает передачу диску возмущающего воздействия, формируемого

кривошипно-рычажным механизмом. Угловые отклонения рычага и диска могут быть измерены с помощью потенциометрических датчиков, связанных с рычагом и валом через зубчатые колеса.

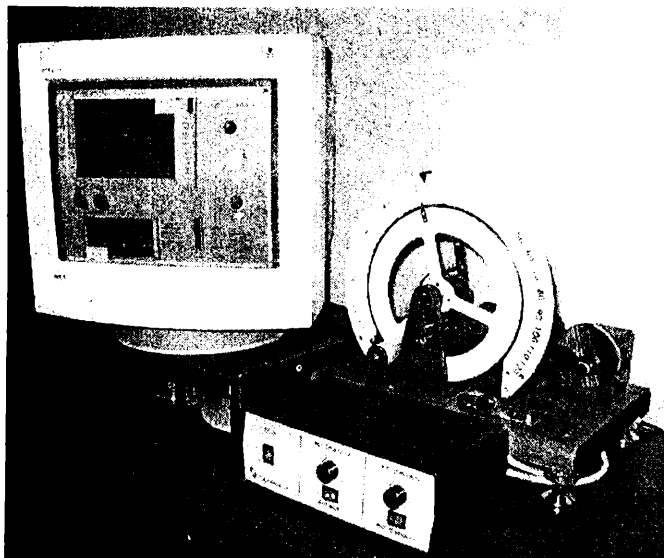


Рис. 1

Лабораторная работа проводится по принципу сравнения экспериментальных и теоретических данных. Экспериментальные данные отображаются в виде совокупности точек, соответствующих оценкам параметров каждого периода вынужденных колебаний при изменении частоты возмущения в некотором диапазоне частот. Вычисление амплитуды и фазы осуществляется на основе анализа сигналов, снимаемых с датчиков углов поворота выходного вала рычажного механизма и диска, т. е. сигналов возмущения и вынужденных колебаний системы с одной степенью свободы. Запись сигналов и их обработка, получение параметров вынужденных колебаний диска (частоты, амплитуды и фазы) проводятся с помощью аппаратно-программного комплекса ПЭВМ.

Электрические сигналы, снимаемые с датчиков угловых отклонений рычага и диска, в виде напряжений постоянного тока

подаются на входы платы аналого-цифрового преобразования, устанавливаемой в разъем системной шины ПЭВМ типа IBM PC. Аналоговые напряжения, пропорциональные углам отклонения входного и выходного валов, в дискретные моменты времени преобразуются аналого-цифровым преобразователем в цифровые коды, которые могут быть считаны процессором ПЭВМ и записаны в ее память. Таким образом, непрерывные механические процессы возмущения и вынужденных колебаний представляются в виде последовательности дискретных цифровых отсчетов, которые могут обрабатываться ПЭВМ для оценивания характеристик этих колебаний. Эта обработка осуществляется программой, использующей поддержку операционной системы для управления ходом программы, осуществления ввода и вывода данных, в том числе при считывании экспериментальных данных, отображении и документировании результатов обработки.

Программное обеспечение рассматриваемого комплекса реализовано в среде системы LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench — среда разработки лабораторных виртуальных приборов) фирмы National Instruments, поставляющей также аппаратуру ввода-вывода сигналов, в том числе плату АЦП NI PCI-6221, применяемую в данном комплексе.

LabVIEW представляет собой интегрированную среду графического программирования и выполнения задач автоматизации измерений и экспериментов, обеспечивающую ввод и обработку экспериментальных данных с отображением результатов обработки в реальном масштабе времени. Арсенал методов обработки и отображения данных весьма разнообразен и обеспечивает оперативную реализацию виртуальных приборов путем построения графических блок-схем алгоритмов на основе библиотечных элементов, реализующих типовые функции, в том числе достаточно сложные (например, спектральный анализ, фильтрацию, решение систем уравнений, генерирование детерминированных и случайных сигналов).

Создаваемые с помощью LabVIEW приложения могут имитировать как универсальные измерительные комплексы (например, мультиметры, осциллографы, генераторы сигналов), так и специально создаваемые комплексные системы сбора, обработки и отображения информации, а также управления различными про-

цессами и объектами с помощью исполнительных элементов, на которые выдаются формируемые ПЭВМ управляющие воздействия. Кроме того, в состав LabVIEW входят компоненты, обеспечивающие удаленный доступ через Internet, что позволяет проводить дистанционное наблюдение и управление.

Программное обеспечение комплекса ТМЛ 08М реализовано в среде LabView 7.0 в виде набора виртуальных приборов, реализующих различные этапы и алгоритмы выполнения лабораторной работы. Основным модулем является виртуальный прибор TML-08M_O.vi. Панель этого прибора показана на рис. 2. На панели имеются управляющие и индикаторные элементы, позволяющие выбрать режим и параметры работы с прибором, а также проконтролировать его настройки (см. ниже подразд. 3.1).

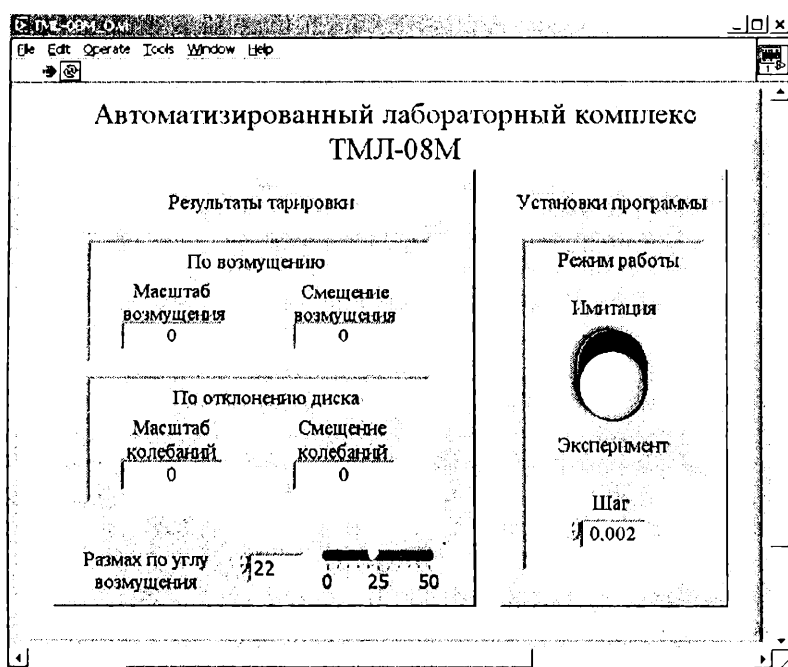


Рис. 2

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. Линейная математическая модель процесса вынужденных колебаний диска

Вынужденные колебания диска вызваны кинематическим возмущением конца пружины O' от электродвигателя установки (рис. 3).

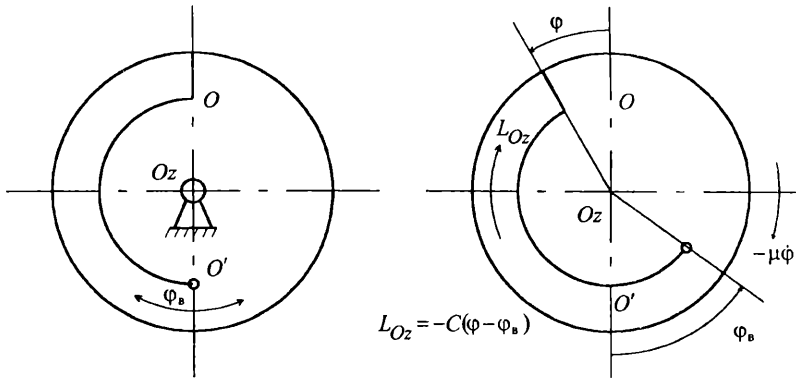


Рис. 3

Уравнение вынужденных колебаний исполнительного элемента — диска (уравнение вращения диска вокруг неподвижной оси Oz) запишем в виде

$$J_{Oz}\ddot{\varphi} = -\mu\dot{\varphi} - C(\varphi - \varphi_b),$$

где J_{Oz} — момент инерции диска относительно оси Oz ; μ — коэффициент вязкого сопротивления; C — коэффициент жесткости пружины; $\varphi_b = \varphi_0 \sin(pt + \delta)$ — угловое возмущение конца спиральной пружины; p и δ — частота и начальная фаза вынуждающего воздействия; t — время; $-\mu\dot{\varphi}$ — момент сил сопротивления; $-C(\varphi - \varphi_b)$ — момент упругих сил пружины.

Перепишем уравнение в виде

$$\ddot{\varphi} + 2n\dot{\varphi} + K^2\varphi = \frac{C\varphi_0}{J_{Oz}}\sin(pt + \delta), \quad (1)$$

где $2n = \frac{\mu}{J_{Oz}}$, n — обобщенный коэффициент сопротивления системы; $K^2 = \frac{C}{J_{Oz}}$, K — круговая частота свободных (собственных) колебаний системы без учета сопротивления.

Входящие в (1) величины имеют следующие размерности:

$$[C] = H \cdot M \left(\frac{H \cdot M}{\text{рад}} \right), \quad [\mu] = \frac{H \cdot M}{c^{-1}} = H \cdot M \cdot c,$$

$$[n] = \frac{[\mu]}{[J_{Oz}]}, \quad [n] = \frac{H \cdot M \cdot c}{\text{кг} \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot c}{c^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{м}^2} = c^{-1} \left(\frac{\text{рад}}{c} \right),$$

$$[K] = \left\{ \frac{[C]}{[J_{Oz}]} \right\}^{1/2} = \left[\frac{H \cdot M}{\text{кг} \cdot \text{м}^2} \right]^{1/2} = \left[\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot c^2} \right]^{1/2} = c^{-1} \left(\frac{\text{рад}}{c} \right).$$

Решение уравнения (1) для вынужденных колебаний ищем в виде

$$\varphi = a \sin(pt + \delta - \varepsilon), \quad (2)$$

где a и ε — неизвестные постоянные величины.

Дифференцируя выражение (2), получаем

$$\dot{\varphi} = ap \cos(pt + \delta - \varepsilon), \quad \ddot{\varphi} = -ap^2 \sin(pt + \delta - \varepsilon). \quad (3)$$

После подстановки соотношений (2) и (3) в уравнение (1) имеем:

$$\begin{aligned} & -ap^2 \sin(pt + \delta - \varepsilon) + 2nap \cos(pt + \delta - \varepsilon) + \\ & + K^2 a \sin(pt + \delta - \varepsilon) = K^2 \varphi_0 \sin[(pt + \delta - \varepsilon) + \varepsilon] = \\ & = K^2 \varphi_0 [\sin(pt + \delta - \varepsilon) \cdot \cos \varepsilon + \cos(pt + \delta - \varepsilon) \cdot \sin \varepsilon]; \\ & a(K^2 - p^2) = h \cos \varepsilon, \quad 2n p a = h \sin \varepsilon, \quad h = K^2 \varphi_0. \end{aligned} \quad (4)$$

Выполнив несложные преобразования (4), получим выражение для амплитуды вынужденных колебаний системы:

$$a = \frac{h}{\sqrt{(K^2 - p^2)^2 + 4n^2 p^2}} = \frac{\varphi_0}{\sqrt{(1 - Z^2)^2 + Z^2 / Q^2}}.$$

Пусть $a = \varphi_a$ (φ_a — максимальное угловое отклонение при вынужденных колебаниях диска),

$$\varphi_a = \frac{\varphi_0 K^2}{\sqrt{(K^2 - p^2)^2 + 4n^2 p^2}} = \frac{\varphi_0}{\sqrt{(1 - Z^2)^2 + Z^2 / Q^2}}.$$

Здесь $Q = \frac{K}{2n}$ — добротность механической системы; $Z = p/K$ — коэффициент расстройки.

Введем нормирование φ_a : коэффициент динамичности $\lambda = \varphi_a / \varphi_0$,

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{(1 - Z^2)^2 + Z^2 / Q^2}}. \quad (5)$$

Кроме того, из соотношений (4) имеем

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{2np}{K^2 - p^2} \quad \text{или} \quad \varepsilon = \operatorname{arctg} \left(\frac{Z/Q}{1 - Z^2} \right), \quad (6)$$

где ε — разность фаз между фазой возмущения ψ_b и фазой вынужденных колебаний $\psi_{вк}$: $\varepsilon = \psi_b - \psi_{вк}$. Если $\psi_b = pt + \delta$, то $\psi_{вк} = pt + \delta - \varepsilon$.

Уравнения (5) и (6) определяют, соответственно, АЧХ и ФЧХ вынужденных колебаний системы (рис. 4).

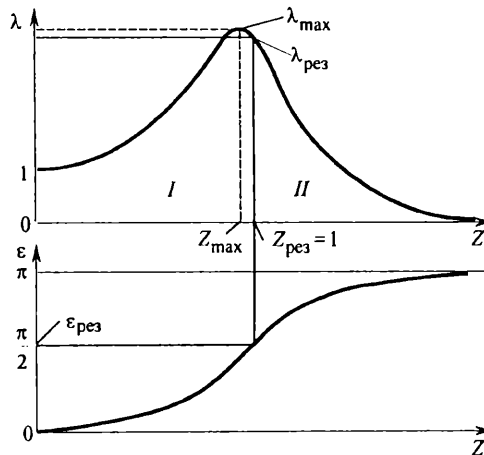


Рис. 4

При увеличении частоты возмущения (вынужденных колебаний) от нуля λ изменяется от значения, равного единице, до максимального значения λ_{\max} , достигаемого в области резонанса, а затем уменьшается до нуля при частотах, стремящихся к бесконечности, ε монотонно изменяется в этом же диапазоне частот от нуля до π .

Резонанс в системе (диск с пружиной и демпфером) наступает при $Z = 1$ ($p = K$). Тогда из формулы (6) следует, что $\lambda_{\text{рез}} = Q$ или $\lambda_{\text{рез}} = (\varphi_a)_{\text{рез}}/\varphi_0 = K/(2n)$, откуда $(\varphi_a)_{\text{рез}} = \varphi_0 K/(2n)$ или $(\varphi_a)_{\text{рез}} = h/(2nK)$, так как $\varphi_0 = h/K^2$.

Однако наибольшее значение $(\varphi_a)_{\max}$ или λ_{\max} достигается при $p_{\max} = \sqrt{K^2 - 2n^2}$, и это значение равно

$$(\varphi_a)_{\max} = \frac{h}{2nK_1}, \quad K_1 = \sqrt{K^2 - n^2}$$

или

$$(\varphi_a)_{\max} = \frac{\varphi_0 K^2}{2nK_1} = \frac{\varphi_0 K}{2n} \frac{K}{K_1} = (\varphi_a)_{\text{рез}} \frac{K}{K_1}.$$

Так как $K > K_1$, $(\varphi_a)_{\max} > (\varphi_a)_{\text{рез}}$ или $\lambda_{\max} > \lambda_{\text{рез}}$ (см. рис. 4).

2.2. Теоретические основы проведения экспериментов

Экспериментальное определение параметров установки. Сначала необходимо определить характеристики системы K и n . Для этого проведем эксперимент с записью свободных (собственных) колебаний системы. Определим условный период затухающих колебаний системы с одной степенью свободы T_1 (рис. 5). Затем вычислим $K_1 = 2\pi/T_1$ — круговую частоту затухающих колебаний системы с одной степенью свободы и далее по записи колебаний найдем обобщенный коэффициент сопротивления n . Определим логарифмический декремент колебаний $\eta = \ln \frac{q_i}{q_{i+1}} = nT_1$, замерив $q_i = (\varphi_{a_i})_c$ и $q_{i+1} = (\varphi_{a_{i+1}})_c$ по графику собственных колебаний системы (рис. 5). Отсюда $n = \eta/T_1$.

Далее определим $K = \sqrt{K_1^2 + n^2}$ и $Q = \frac{K}{2n}$.

Задавая Z , при известном Q строим теоретические кривые $\lambda = \lambda(Z)$ и $\varepsilon = \varepsilon(Z)$ — см. формулы (6), (7).

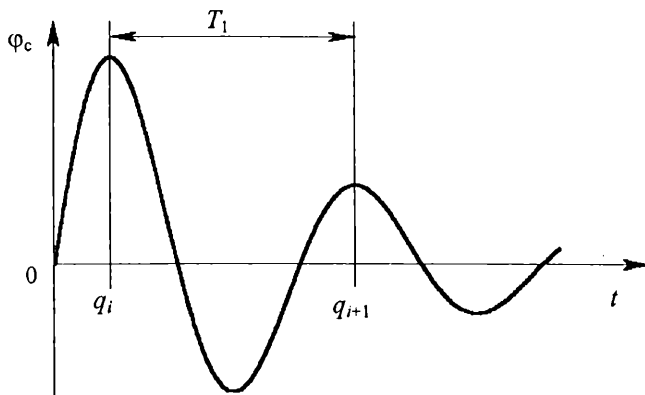


Рис. 5

Экспериментальное исследование вынужденных колебаний системы. Механическая система (диск) приводится в движение с помощью упругого элемента (спиральной пружины), механически связанного с электродвигателем. Датчики на установке фиксируют угловые отклонения диска и возмущения. Программное обеспечение реализует алгоритмы анализа сигналов от датчиков и оценивает амплитуду φ_a и частоту p вынужденных колебаний диска. При достаточно большом обобщенном коэффициенте сопротивления n свободные (собственные) колебания в системе быстро затухают. Поэтому при проведении эксперимента по замеру φ_a и p необходимо выждать некоторое время до начала режима установившихся движений (т. е. режима фактически только вынужденных колебаний).

Экспериментальные данные можно нормировать по амплитудному значению возмущения φ_0 . В этом случае будем иметь множество точек, положение которых соответствует зависимости $\lambda_3 = \lambda_3(p_3)$. Значение φ_0 зависит от конструктивных параметров приводного механизма. Возмущение φ_0 можно определить с помощью

некоторого нормирующего эксперимента, позволяющего измерить φ_0 , φ_a , p и рассчитать

$$\varphi_0 = \varphi_a \sqrt{(1 - Z^2)^2 + (Z^2 / Q^2)^2}.$$

Дальнейшую серию экспериментов по определению АЧХ и ФЧХ для данного φ_0 проводим, задавая различные частоты вынужденных колебаний p_i и замеряя φ_{a_i} и ε_i . Значения $\lambda_i = \varphi_{a_i} / \varphi_0$, $\varepsilon_i = \psi_{\text{в}} - \psi_{\text{вк}}$ при определенных $Z_i = p_i / K$ в виде точек автоматически наносятся на график экспериментальной частотной характеристики.

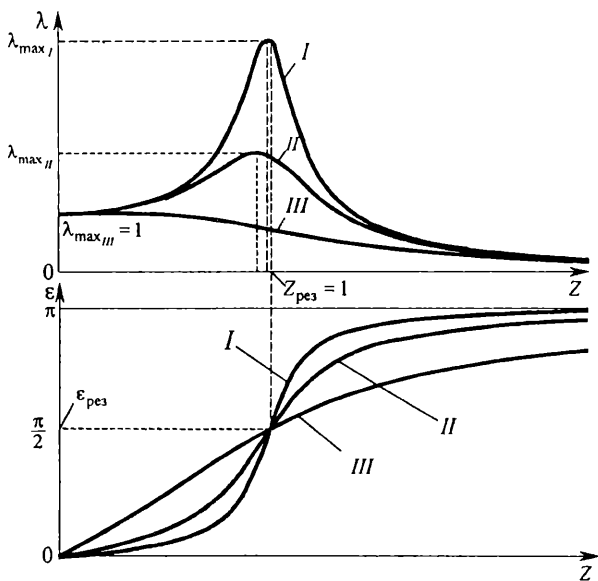


Рис. 6

При исследовании кривой $\lambda = \lambda(p)$ ($\lambda = \lambda(Z)$), устанавливая требуемые значения Z_i (или p_i), необходимо (см. рис. 4):

- 1) провести замеры в дорезонансной области I;
- 2) оценить частоту p_{max} (Z_{max}), соответствующую максимуму амплитуды вынужденных колебаний λ_{max} для данных K , n , φ_0 ;

3) провести эксперимент при резонансе $Z_{\text{рез}} = p/K = 1$ (т. е. при $p = K$ и сравнить значение $\lambda_{\text{рез}}$ с $\lambda_{\text{пах}}$ (показать, что $\lambda_{\text{рез}} < \lambda_{\text{пах}}$);

4) провести эксперимент в зарезонансной области II и показать, что с увеличением частоты возмущения (вынужденных колебаний) амплитуда вынужденных колебаний уменьшается и стремится к нулю при $p \rightarrow \infty$ ($Z \rightarrow \infty$).

Такой порядок работы можно повторить при ином сопротивлении в системе (изменив его с помощью демпфера). При этом кривые, показанные на рис. 4, изменят свой вид (рис. 6).

При значительном увеличении сопротивления она может принять вид III , а при значительном снижении сопротивления в системе — вид I . Для кривой I величина $Z_{\text{пах}}$ смещается по оси абсцисс к значению $Z_{\text{рез}}$.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

3.1. Подготовительные процедуры

На первом этапе осуществляется тарировка измерительной подсистемы путем измерения показаний потенциометрических датчиков угловых отклонений рычага и диска для заданных углов. Эти замеры проводят при выключенном приводе. Для входного вала это максимальные отклонения, определяемые установкой эксцентриситета кривошипа, а для диска, например, -120° и $+120^\circ$. С этой целью на экран монитора ПЭВМ выводятся диалоговые окна тарировки датчика возмущения (рис. 7) и режима тарировки датчика вынужденных колебаний (рис. 8). Следует обратить внимание на необходимость четкой фиксации диска в заданных положениях, что при отсутствии в установке соответствующих приспособлений можно осуществить с помощью какого-либо стержня (например, карандаша), прижав его к сегменту шкалы.

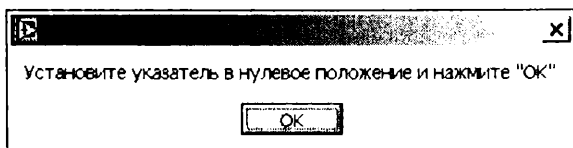
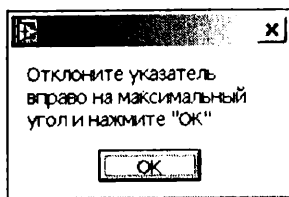
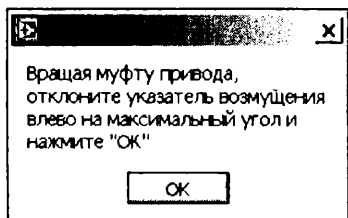


Рис. 7

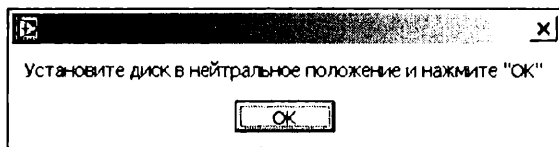
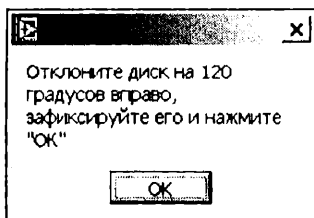
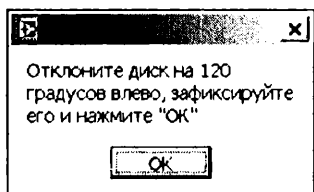


Рис. 8

После этого включается режим записи свободных колебаний (рис. 9), при котором необходимо отклонить диск на заданный угол и после «нажатия» (щелчком мыши на соответствующей кнопке) клавиши «ОК» отпустить его без начальной угловой скорости.

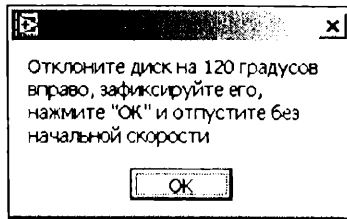


Рис. 9

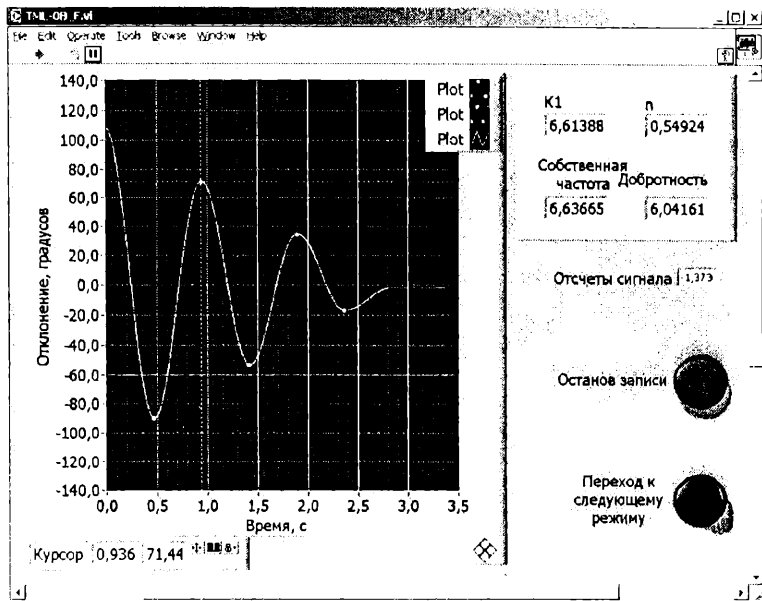


Рис. 10

График затухающих свободных колебаний в реальном времени отображается на мониторе ПЭВМ виртуального прибора TML-08_F.vi (рис. 10). Остановить процесс регистрации можно в любой момент нажатием на клавишу «Останов записи». В общем случае этот момент определяется полным затуханием колебаний диска. Вывод графика осуществляется в режиме автоматического

масштабирования по шкале времени, так что весь процесс от начала до конца регистрируется на экране монитора. В процессе ввода определяются точки экстремумов свободных колебаний (отмечены на кривой графика), что позволяет перейти к оценке параметров колебательной системы.

3.2. Представление результатов экспериментов и их анализ

Сначала проводятся замеры K и n . По кривой свободных колебаний (см. рис. 10) определяют $T_1(K_1)$ и n , а затем K . Поскольку точки экстремумов определены, эти вычисления проводятся автоматически и их результаты отображаются на индикаторах в правой верхней части экрана. При желании можно самостоятельно провести измерения с помощью курсора, управляемого мышью. Положение пересечения линий курсора в координатах осей графика отображаются на индикаторах под графиком. После окончания измерений нажимают кнопку «Переход к следующему режиму».

На мониторе ПЭВМ открывается новое окно виртуального прибора TML-08M_K.vi (рис. 11). В нижней левой части панели мигает надпись «Включите двигатель, установите начальную скорость вращения (максимальную) и нажмите “ОК”». После выполнения указанных действий начинается ввод экспериментальных данных с одновременной их обработкой и отображением. Сигналы возмущения и вынужденных колебаний отображаются на графике, размещенном в правом верхнем углу основного графического окна. Здесь же отображаются импульсы, отмечающие моменты экстремумов этих колебаний.

Достоверные значения экстремумов могут быть получены только после окончания переходных процессов, вызванных перестройкой частоты возмущения. Поэтому рядом помещен индикатор установившихся колебаний, имитирующий включение светодиода зеленого свечения. После установления колебаний начинается процедура оценивания амплитуды и фазы вынужденных колебаний (точнее, отношения амплитуд и разности фаз возмущения и вынужденных колебаний). Для каждого периода колебаний эти оценки откладываются на основном графике в виде точек на фоне теоретических кривых.

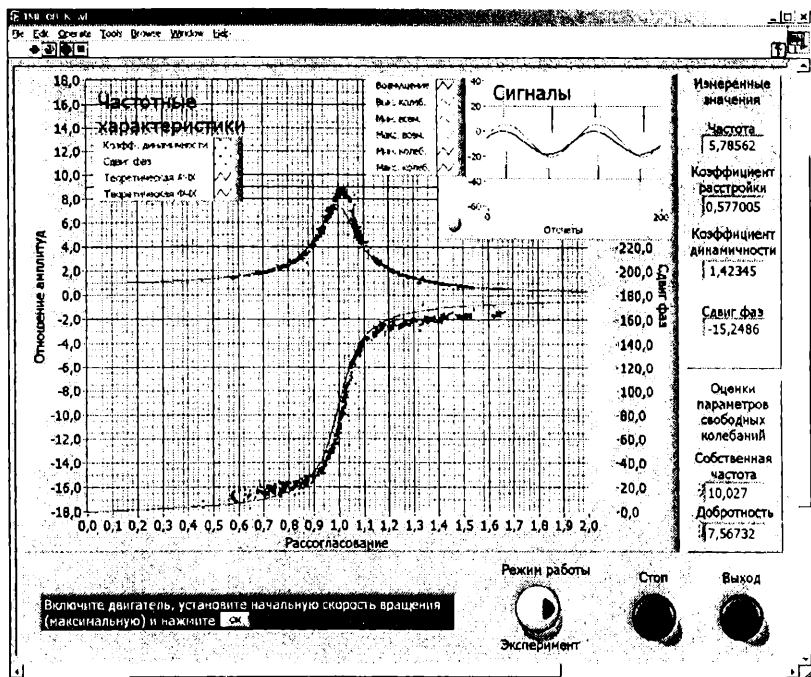


Рис. 11

Построение АЧХ и ФЧХ выполняют при включенном электродвигателе и включенном ($n = n_1$) или отключенном ($n = n_2$) демпфере, $n_1 > n_2$. Замеры сначала проводят на максимальных частотах возмущения (больших оборотах двигателя). Затем частоту возмущения постепенно плавно уменьшают. В процессе работы установки ПЭВМ непрерывно регистрирует частоту, амплитуду (отношение амплитуд $\lambda = \varphi_a/\varphi_0$) и фазу (разность фаз $\varepsilon = \psi_v - \psi_{вк}$) вынужденных колебаний. По оси ординат откладывается нормированная амплитуда вынужденных колебаний системы $\lambda = \varphi_a/\varphi_0$ и сдвиг фаз ε , а по оси абсцисс — коэффициент расстройки Z . Каждому периоду колебаний соответствует пара точек (Z_i, λ_i) , (Z_i, ε_i) , отображаемых соответственно синим цветом для амплитуды и малиновым для разности фаз. Экспериментальные точки при боль-

шом числе замеров сливаются в линию, характер которой должен соответствовать виду теоретической кривой. На экране дисплея строится и теоретическая кривая. При ее построении используются K и n , полученные по экспериментальным данным для свободных (затухающих) колебаний.

Из рис. 10 и 11 видно, что экспериментальные точки и вид АЧХ и ФЧХ достаточно хорошо подтверждают допустимость использования линейной математической модели для описания вынужденных колебаний диска. Максимальные относительные отклонения экспериментальных данных от теоретических зависимостей не превышают 10 % (по АЧХ).

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Описание комплекса	3
2. Теоретическая часть	7
2.1. Линейная математическая модель процесса вынужденных колебаний диска	7
2.2. Теоретические основы проведения экспериментов	10
3. Порядок выполнения лабораторной работы.....	13
3.1. Подготовительные процедуры.....	13
3.2. Представление результатов экспериментов и их анализ	16

**Владимир Валентинович Дубинин
Юрий Николаевич Жигулевцев
Вячеслав Валентинович Витушкин**

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ
ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС
«ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ
МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
С ОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ СВОБОДЫ»
ТМл 08М**

Методические указания

Редактор *С.А. Серебрякова*
Компьютерная верстка *С.А. Серебряковой*

Подписано в печать 15.09.05. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Печ. л. 1,25. Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 0,89. Тираж 120 экз.

Заказ 2 / - /

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5.