



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013118779/12, 24.04.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
24.04.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 24.04.2013

(45) Опубликовано: 27.09.2013 Бюл. № 27

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, для Витушкина
В.В. (ФН-3)

(72) Автор(ы):

Дубинин Владимир Валентинович (RU),
Витушкин Вячеслав Валентинович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана" (МГТУ
им. Н.Э. Баумана) (RU)

**(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ
МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

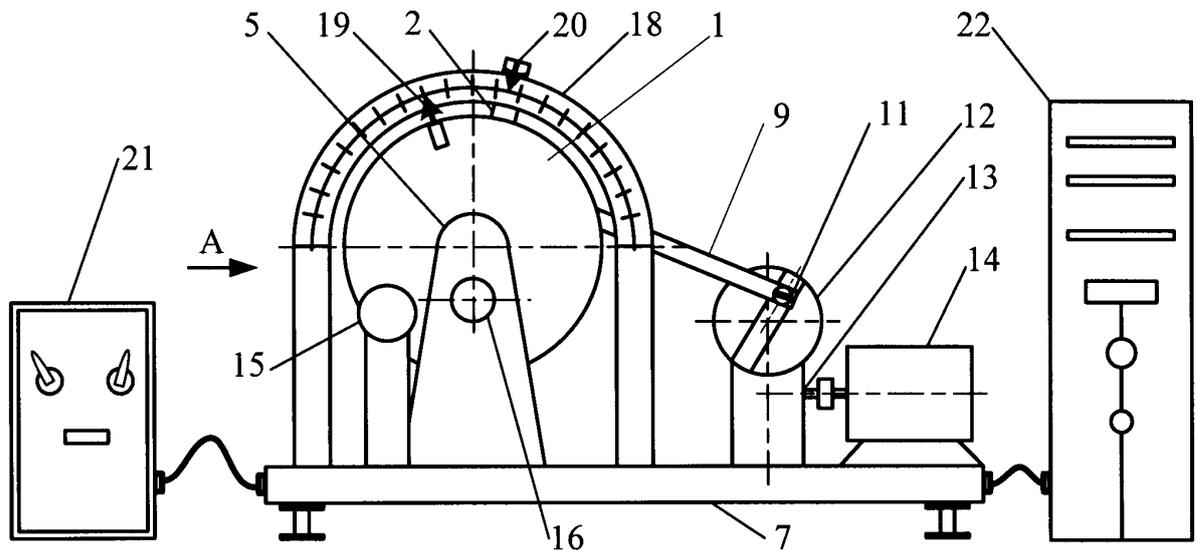
Формула полезной модели

1. Устройство для демонстрации и исследования вынужденных колебаний механической системы, содержащее установленные на общем основании колебательный элемент в виде диска, рычаг с валом, сочлененный с диском через упругое звено, электродвигатель привода, соединенный с рычагом посредством редуктора и передаточного механизма с шатуном, демпфер колебаний диска, блок электропитания и управления, отличающееся тем, что оно снабжено датчиками углов поворота диска и рычага, кинематически соединенными с ними, и блоком записи и обработки сигналов датчиков, диск снабжен центральным валом, установленным на основании горизонтально и соосно с валом рычага, упругое звено выполнено в виде спиральной пружины, один конец которой закреплен на валу диска, а другой - на рычаге, шатун передаточного механизма непосредственно соединен с рычагом, демпфер выполнен в виде двух электромагнитов, установленных соосно друг с другом с двух сторон диска с зазором относительно него, при этом диск выполнен из токопроводящего немагнитного материала, а блок электропитания и управления электрически соединен с демпфером и датчиками.

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что в качестве блока записи и обработки сигналов датчиков применен персональный компьютер с аналого-цифровым преобразователем, электрически соединенный с датчиками углов поворота диска и рычага.

3. Устройство по п.1, отличающееся тем, что датчики углов поворота диска и рычага выполнены в виде резисторов постоянного тока.

RU 132913 U1



RU 132913 U1

Устройство для демонстрации и исследования вынужденных колебаний механической системы Область техники

Полезная модель относится к учебно-исследовательскому оборудованию по теоретической механике и может быть использована в высших технических учебных заведениях при изучении теории свободных и вынужденных колебаний механической системы с кинематическим возбуждением колебаний через упругий элемент.

Уровень техники

Известно устройство для демонстрации колебательных процессов, содержащее колебательный элемент в виде диска, рычаг с валом, сочлененный с диском через упругое звено, электродвигатель привода, соединенный с рычагом посредством редуктора и передаточного механизма с шатуном, и демпфер колебаний диска, а также блок электропитания и управления (см. Авторское свидетельство СССР №1707613, кл. G09B 23/06, 1989 г.).

В указанном устройстве запись и обработка результатов экспериментов производится по данным визуальных наблюдений, что позволяет получать лишь отдельные и приблизительные характеристики колебательного процесса. Кроме того, в данном устройстве колеблющийся диск вместе с демпфером вертикально подвешен на упругом элементе - струне, что не обеспечивает стабильного положения оси колебаний и надежность работы демпфера, а передаточный механизм, связывающий редуктор с шатуном, имеет громоздкую конструкцию, не обеспечивающую достаточную точность получения гармонического закона изменения вынуждающей силы.

Раскрытие полезной модели

Задача полезной модели заключается в повышении информативности, надежности и точности демонстрации и исследования характеристик колеба

2 Приложение №2

ний механической системы, в том числе амплитудно-частотных (АЧХ) и фазочастотных (ФЧХ) характеристик.

Задача решается тем, что устройство для демонстрации и исследования вынужденных колебаний механической системы, содержащее установленные на общем основании колебательный элемент в виде диска, рычаг с валом, сочлененный с диском через упругое звено, электродвигатель привода, соединенный с рычагом посредством редуктора и передаточного механизма с шатуном, демпфер колебаний диска, блок электропитания и управления, согласно полезной модели, снабжено датчиками углов поворота диска и рычага, кинематически соединенными с ними, и блоком записи и обработки сигналов датчиков, диск снабжен центральным валом, установленным на основании горизонтально и соосно валу рычага, упругое звено выполнено в виде спиральной пружины, один конец которой закреплен на валу диска, а другой - на рычаге, шатун передаточного механизма непосредственно соединен с рычагом, демпфер выполнен в виде двух электромагнитов, установленных соосно друг другу с двух сторон диска с зазором относительно него, при этом диск выполнен из токопроводящего немагнитного материала, а блок электропитания и управления электрически соединен с демпфером и датчиками.

Кроме того, в качестве блока записи и обработки сигналов датчиков применен персональный компьютер с аналого-цифровым преобразователем, электрически соединенный с датчиками углов поворота диска и рычага, а датчики углов поворота диска и рычага выполнены в виде резисторов постоянного тока - потенциометров.

Перечень фигур

На фиг.1-3 представлен общий вид устройства.

На фиг.4 показан вид графика линейных затухающих колебаний.

На фиг.5 приведены типичные АЧХ ($\lambda=\lambda(z)$) механической системы.

На фиг.6 приведены типичные ФЧХ ($|\gamma|=\gamma(z)$) механической системы.

5 Осушествление полезной модели

Схема устройства приведена на фиг.1-3 (здесь блок электропитания и блок записи и обработки сигналов датчиков показаны условно на фиг.1 и не показаны на фиг.2, 3).

2a

10 Устройство содержит диск 1 и рычаг 2 привода диска в колебательное движение, которые посредством валов 3 и 4 установлены в опорах 5 и 6, закрепленных на основании 7, при этом валы 3 и 4 установлены соосно друг другу. Диск и рычаг соединены между собой с помощью спиральной пружины 8, один конец которой закреплен на валу 3 диска, а другой - на рычаге 2. Рычаг посредством передаточного механизма, включающего шатун 9, который с помощью осей 10 и 11 шарнирно сочленен с рычагом и кривошипом 12, соединен с редуктором 13, при этом длина кривошипа может регулироваться путем перемещения оси 11 в пазу кривошипа, при этом будет изменяться амплитуда поворота рычага. Кривошип 12 жестко закреплен на выходном валу редуктора, соединенного с электродвигателем 14. С двух сторон диска 1 с зазорами относительно его боковых поверхностей установлены соосно друг другу постоянные электромагниты 15 тормозного устройства - демпфера колебаний диска. При этом диск выполнен из немагнитного токопроводящего материала, например алюминиевого сплава. Редуктор 13, двигатель 14 и электромагниты демпфера неподвижно закреплены на основании 7. На опорах 5 и 6 закреплены датчики 16 и 17 углов поворота соответственно диска и рычага, кинематически, например посредством зубчатой передачи, соединенные с их валами 3 и 4. На основании закреплена также градуированная шкала 18, а диск и рычаг снабжены стрелками 19 и 20 - указателями углов их поворота относительно шкалы 18.

25 Устройство снабжено также блоком 21 питания и управления и блоком 22 регистрации и обработки сигналов датчиков (эти блоки на фиг.1 показаны условно, а на фиг.2 и 3 не показаны). Блок питания и управления электрически соединен с электродвигателем, демпфером и датчиками. В качестве блока регистрации и обработки сигналов датчиков в данном устройстве применен персональный компьютер, электрически связанный с датчиками 16 и 17 через аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

Работает данное устройство следующим образом.

35 Вначале при включении блока 21 электропитание подводится к электромагнитам 15 демпфера и датчику 16 угла поворота диска 1, при этом двигатель остается выключенным и рычаг 2 - неподвижным. Поворачивая кривошип 12 (см. фиг.1), устанавливают по шкале 18 рычаг и диск в нулевые положения. Затем рукой отклоняют диск на заданный угол, закручивая спиральную пружину 8, т.е. сообщают диску начальное отклонение от положения равновесия и после этого отпускают его, например, без начальной скорости. В результате диск приходит в свободное вращательное колебательное движение, при этом сигнал датчика 16 поступает в блок 22, в котором с помощью соответствующего программного обеспечения обрабатывается, записывается, демонстрируется визуально и поступает на печать, в том числе, например, и в реальном времени. Затухание колебаний происходит вследствие сопротивления движению сил вязкого трения в окружающей среде, в датчике и в подшипниках вала диска, а также электромагнитных сил взаимодействия вихревых токов, возникающих в теле диска при его движении в магнитном поле демпфера, с самим этим полем. Скорость затухания колебаний диска в данном устройстве регулируется путем изменения

напряжения питания электромагнитов 15 демпфера.

Типичный вид графика линейных затухающих колебаний показан на фиг.4. Здесь: φ - угол отклонения диска от положения равновесия,

A_i и A_{i+1} - значения двух соседних максимумов этого отклонения,

t - время колебаний,

t_i и t_{i+1} - моменты времени, соответствующие соседним максимумам отклонений диска,

T_1 - условный период свободных затухающих колебаний диска.

По данным записи этого графика определяется условный период T_1 затухающих колебаний диска и вычисляются основные параметры этих колебаний по следующим формулам:

$$\omega_1 = 2\pi/T_1; \eta = \ln \frac{A_i}{A_{i+1}}; n = \frac{\eta}{T_1}; \omega = \sqrt{\omega_1^2 + n^2}; Q = \frac{\omega}{2n}$$

где ω - круговая частота затухающих колебаний;

η - логарифмический декремент колебаний;

n - коэффициент затухания колебаний (обобщенный коэффициент сопротивления);

ω - частота собственных колебаний диска без сопротивления

Q - добротность системы.

По полученным таким образом параметрам определяются расчетные (теоретические) АЧХ и ФЧХ данной системы по следующим соотношениям:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{(1-z^2)^2 + z^2/Q^2}}; \gamma = \text{arctg} \left(\frac{z/Q}{1-z^2} \right)$$

где λ - коэффициент динамичности;

$z=p/\omega$ - коэффициент расстройки;

p - частота вынужденных колебаний системы;

$\gamma = \psi_B - \psi$ - запаздывание колебаний по фазе, т.е. разность фаз между фазой возмущения

- ψ_B и фазой вынужденных колебаний - ψ .

В качестве примера типичные АЧХ ($\lambda = \lambda(z)$) и ФЧХ ($\gamma = \gamma(z)$) приведены на фиг.5 и 6, соответственно. На фиг.5 позициями 23, 24 и 25 отмечены зависимости $\lambda = \lambda(z)$ при малом, среднем и большом сопротивлении (здесь $\lambda_{\max 1}$, $\lambda_{\max 2}$, $\lambda_{\max 3}$ - соответствующие

максимальные значения коэффициента динамичности). На фиг.6 позициями 26, 27 и 28 отмечены зависимости $\gamma = \gamma(z)$ при малом, среднем и большом сопротивлении, соответственно.

Затем включают двигатель 14 (см. фиг.1-3) и посредством редуктора 13, кривошипа 12 и шатуна 9 приводят в колебательное движение (вращение вокруг оси вала 4) рычаг 2, причем это движение рычага происходит по закону, близкому к гармоническому:

$$\varphi_B = \varphi_{B0} \sin(pt + \beta),$$

где φ_B - текущее значение угла поворота рычага;

φ_{B0} - амплитуда угла поворота рычага;

β - начальная фаза возмущения.

Второй конец пружины соединен с диском и при отклонении рычага на угол φ_B диск поворачивается на угол φ от нейтрального положения. При этом на него действует момент сил упругой деформации пружины - $x(\varphi - \varphi_B)$ и суммарный момент сил

сопротивления, включая момент сопротивления демпфера, - $\mu\phi$. Здесь c - коэффициент жесткости пружины, μ - коэффициент сопротивления системы. Электромагнитный тормоз данной экспериментальной установки создает момент торможения, практически пропорциональный угловой скорости поворота диска. Величина момента торможения может регулироваться с помощью блока управления, что позволяет изменять коэффициент затухания n и соответственно добротность Q системы.

При каждом изменении p и μ в дополнение к вынужденным колебаниям возникают свободные колебания (см. фиг.4), которые затухают по истечении некоторого промежутка времени - времени переходного процесса t^* , которое определяется по формуле:

$$t^* = 3\tau_0 = 3/n,$$

где $\tau_0 = 1/n$ - постоянная времени затухающих колебаний.

Именно с момента окончания переходного процесса наступают установившиеся вынужденные колебания и производится регистрация параметров движения диска и рычага. Уравнение вынужденных колебаний диска имеет следующий вид:

$$\varphi = \varphi_0 \sin(pt + \beta - \gamma),$$

где φ_0 - амплитуда вынужденных колебаний.

По записанным параметрам колебаний диска и рычага экспериментальные значения коэффициента динамичности λ (отношение амплитуды вынужденных колебаний диска к его статическому смещению под действием постоянного момента, равного по величине $c\varphi_{в0}$) и запаздывание γ колебаний по фазе при фиксированных значениях коэффициента расстройки z определяются по формулам:

$$\lambda = \varphi_0 / \varphi_{в0} \quad \text{и} \quad \gamma = (t_0 - t_{в0})p,$$

где $\varphi_{в0}$ - амплитудное отклонение рычага относительно его нулевого положения, равное в данном случае статическому смещению диска от положения равновесия;

t_0 и $t_{в0}$ - моменты реального времени, соответствующие ближайшим по времени амплитудам отклонений диска и рычага от нулевого положения.

Каждому периоду колебаний соответствует пара экспериментальных точек (z_i, λ_i) , $(z_i, |\gamma_i|)$, отображаемых на соответствующих расчетных графиках (см. фиг.5 и 6). Это позволяет сопоставить результаты экспериментов и расчетов, полученных с использованием линейной математической модели.

Таким образом, предложенное устройство для демонстрации и исследования вынужденных колебаний механической системы позволяет повысить надежность, точность и информативность исследований колебаний механической системы. При этом, выполнение тормозного устройства в виде электромагнитного демпфера упрощает и повышает точность регулирования процесса затухания колебаний, а снабжение устройства измерительными датчиками и блоком записи и обработки сигналов датчиков обеспечивает запись этих процессов и их количественное исследование, а также построение и исследование теоретических и экспериментальных амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик механической системы. По этим причинам данное устройство позволяет существенно повысить качество изучения теории свободных и вынужденных колебаний механических систем в высших технических учебных заведениях.

(57) Реферат

Полезная модель относится к учебно-исследовательскому оборудованию по теоретической механике и представляет собой устройство для демонстрации и
5 исследования вынужденных колебаний механической системы. Оно содержит диск, рычаг с валом, сочлененный с диском через упругое звено и привод рычага, состоящий из электродвигателя, редуктора и передаточного механизма с шатуном, а также демпфер. Сущность модели в том, что устройство снабжено датчиками углов поворота диска и
10 рычага и блоком обработки сигналов датчиков, диск выполнен из токопроводящего немагнитного материала и снабжен центральным валом, соосным валу рычага, упругое звено выполнено в виде спиральной пружины, шатун непосредственно соединен с рычагом, демпфер выполнен в виде двух соосных электромагнитов, установленных с зазором с двух сторон диска. При этом в качестве блока записи и обработки сигналов датчиков применен персональный компьютер, а датчики углов поворота диска и рычага
15 выполнены в виде резисторов. Полезная модель позволяет повысить информативности, надежности и точности демонстрации и исследования характеристик колебаний. 2 з.п. формулы, 6 илл.

20

25

30

35

40

45



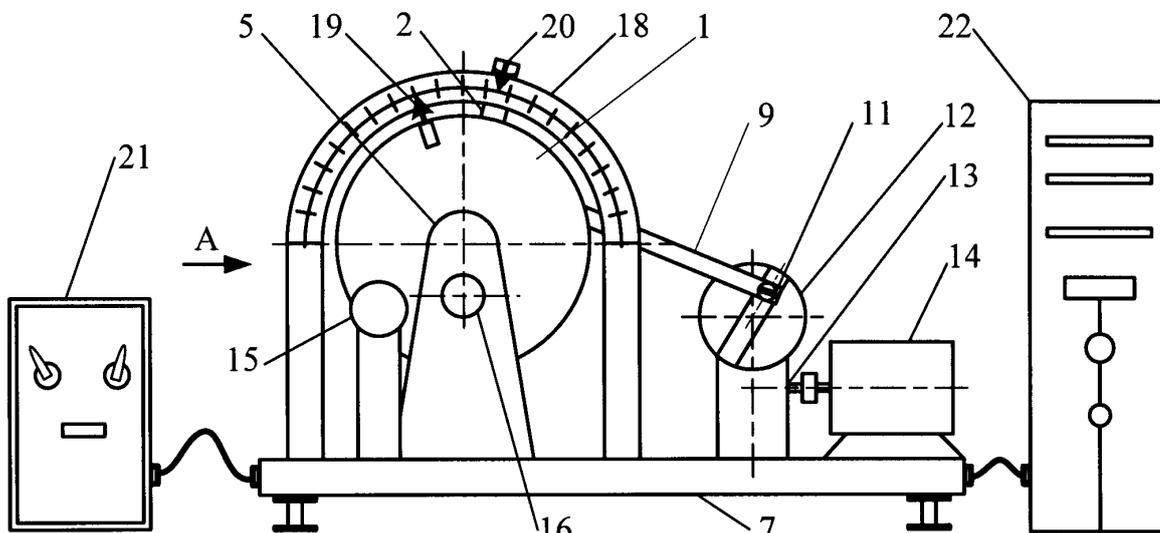
Реферат

Устройство для демонстрации и исследования вынужденных колебаний механической системы

Полезная модель относится к учебно-исследовательскому оборудованию по теоретической механике и представляет собой устройство для демонстрации и исследования вынужденных колебаний механической системы. Оно содержит диск, рычаг с валом, сочлененный с диском через упругое звено и привод рычага, состоящий из электродвигателя, редуктора и передаточного механизма с шатуном, а также демпфер. Сущность модели в том, что устройство снабжено датчиками углов поворота диска и рычага и блоком обработки сигналов датчиков, диск выполнен из токопроводящего немагнитного материала и снабжен центральным валом, соосным валу рычага, упругое звено выполнено в виде спиральной пружины, шатун непосредственно соединен с рычагом, демпфер выполнен в виде двух соосных электромагнитов, установленных с зазором с двух сторон диска. При этом в качестве блока записи и обработки сигналов датчиков применен персональный компьютер, а датчики углов поворота диска и рычага выполнены в виде резисторов. Полезная модель позволяет повысить информативности, надежности и точности демонстрации и исследования характеристик колебаний. 2 з. п. формулы, 6 илл.

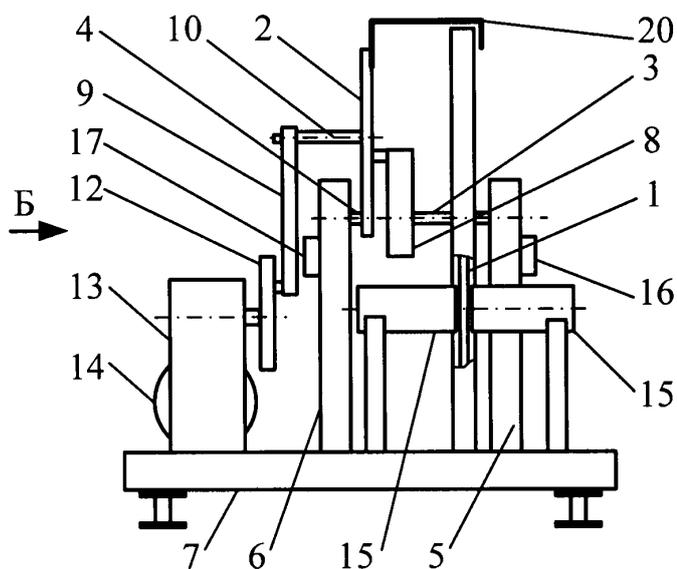


Рисунки к полезной модели «Устройство для демонстрации и исследования вынужденных колебаний механической системы»



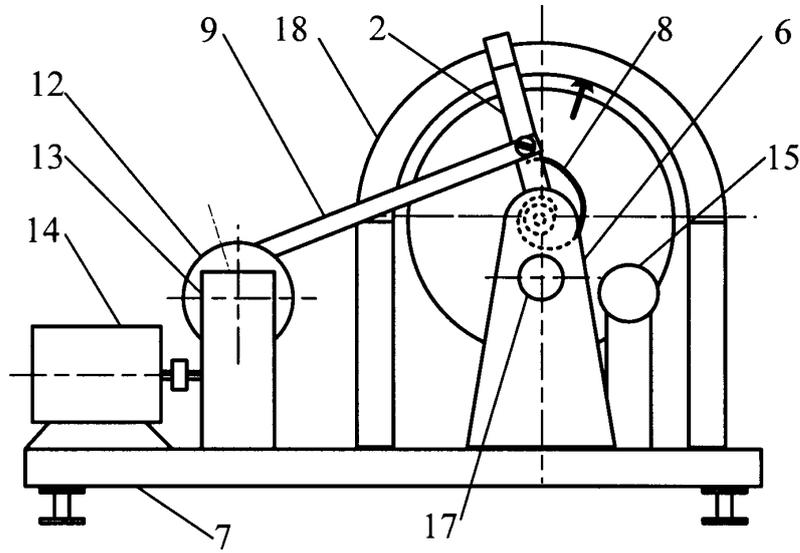
Фиг. 1

Вид А по фиг.1

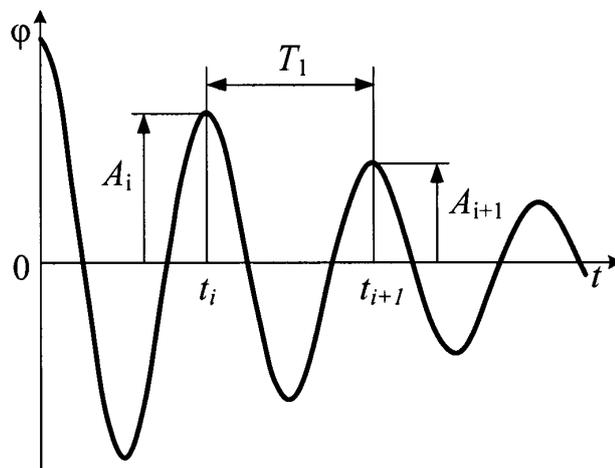


Фиг. 2

Вид Б по фиг.2



Фиг.3



Фиг. 4

