

Д.Г. Грязин  
С.Ю. Перепелкина  
М.В. Абрамчук

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ  
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО КУРСУ "ОСНОВЫ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ". ЧАСТЬ II.**



Санкт-Петербург  
2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Д.Г. Грязин  
С.Ю. Перепелкина  
М.В. Абрамчук

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ  
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО КУРСУ "ОСНОВЫ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ". ЧАСТЬ II.  
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО  
по направлению подготовки 12.03.01 Приборостроение в качестве учебно-  
методического пособия для реализации  
основных профессиональных образовательных программ  
высшего образования бакалавриата,

 УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург  
2019

Грязин Д.Г., Перепелкина С.Ю., Абрамчук М.В. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу "Основы проектирования приборов и систем". Часть II. – СПб.: Университет ИТМО, 2019. – 32 с.

Рецензент:

Коваленко Павел Павлович, кандидат технических наук, доцент (квалификационная категория "ординарный доцент") факультета систем управления и робототехники, Университета ИТМО.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ, проводимых в модуле №11 студентами 3 курса направления подготовки бакалавров по направлению 12.03.01 "Приборостроение" в рамках дисциплины «Основы проектирования приборов и систем». Лабораторные работы проводятся в объёме 8 академических часов. Содержание работы направлено на усвоение лекционного материала по расчётам характеристик маятникового акселерометра, маятникового датчика угла и осевого акселерометра, а также расчет динамических характеристик датчика. Студенты овладевают навыками, позволяющими производить расчёт статических и динамических характеристик системы, а также оптимизировать параметры датчика по заданному критерию; развивают умения по структурированию измерительной системы на динамические звенья и отдельные элементы, и умения использовать для расчетов уравнения второго порядка. В результате выполнения этих работ студенты смогут освоить математические описания измеряемых процессов и способы расчета статические и динамические характеристики приборов и систем.



**Университет ИТМО** – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2019

© Грязин Д.Г., Перепелкина С.Ю., Абрамчук М.В. 2019

## Содержание

Введение .....	4
1. Указания к выполнению лабораторной работы №1 "Расчёт статической характеристики датчика" .....	4
1.1 Расчёт характеристик маятникового акселерометра .....	5
1.2 Расчёт характеристик маятникового датчика угла .....	7
1.3. Расчёт характеристик осевого акселерометра.....	8
2. Указания к выполнению лабораторной работы №2 "Расчёт динамических характеристик датчиков" .....	9
Приложение 1 .....	11
Варианты заданий.....	11
Приложение 2 .....	14
Перечень вопросов с ключами ответов для проверки знаний студентов при защите лабораторных работ .....	14
Список литературы.....	27

## Введение

В учебно-методическом пособии представлены указания к выполнению лабораторных работ по расчёту статических и динамических характеристик датчиков.

В ходе подготовки к лабораторным работам обучающиеся должны понять цель работы, задачи работы и её содержание.

Отчёты по работе выполняются индивидуально на листе формата А4 или в тетради.

### 1. Указания к выполнению лабораторной работы №1 "Расчёт статической характеристики датчика"

Расчёт производится на основе лекционного материала. Для выполнения работы предлагается один из трёх вариантов:

- расчёт характеристик маятникового акселерометра;
- расчёт характеристик маятникового датчика угла;
- расчёт характеристик осевого акселерометра.

Перед проведением лабораторных работ студенты должны ознакомиться с методической литературой [1]. При проведении лабораторной работы возможно использование электронного учебника [2].

Классический прием построения исследуемой характеристики с учетом использования статической характеристики датчика с тремя последовательно соединенными звеньями состоит в следующем:

Сначала строят параметр первого звена  $y_1 = f_1(x)$  в I четверти системы координат (рис. 1), далее выстраивают параметр второго звена  $y_2 = f_2(y_1)$  во II четверти с учетом масштаба и значения  $y_1$ , для второго звена строят по той же оси ординат. Далее аналогично в III четверти для  $y_3 = f_3(y_2)$ . Затем делят ось на ряд участков произвольной длины, например, 4, и из точки 1 строят перпендикуляр до пересечения с кривой  $y_1 = f_1(x)$  в точке 5. Через точку 5 проводят горизонтальную линию до пересечения с кривой  $y_2 = f_2(y_1)$  в точке 6, затем проводят вертикальную линию до пересечения с точкой 7 и снова горизонтальную линию до пересечения с перпендикуляром от точки 1, и получают точку 8. Повторяя такое же построение для точек 2, 3, 4, строят кривую  $y = f(x)$ .

Задание для выполнения первой и второй лабораторной работы указано в одной карточке, варианты карточек приведены в приложении 1. В карточке приводится кинематическая схема датчика с шестью вариантами начальных условий расчёта. Задание с указанием карточки и варианта начальных условий расчёта выдаётся преподавателем индивидуально каждому студенту. Рассмотрим последовательно методику расчёта по каждой из карточек заданий.

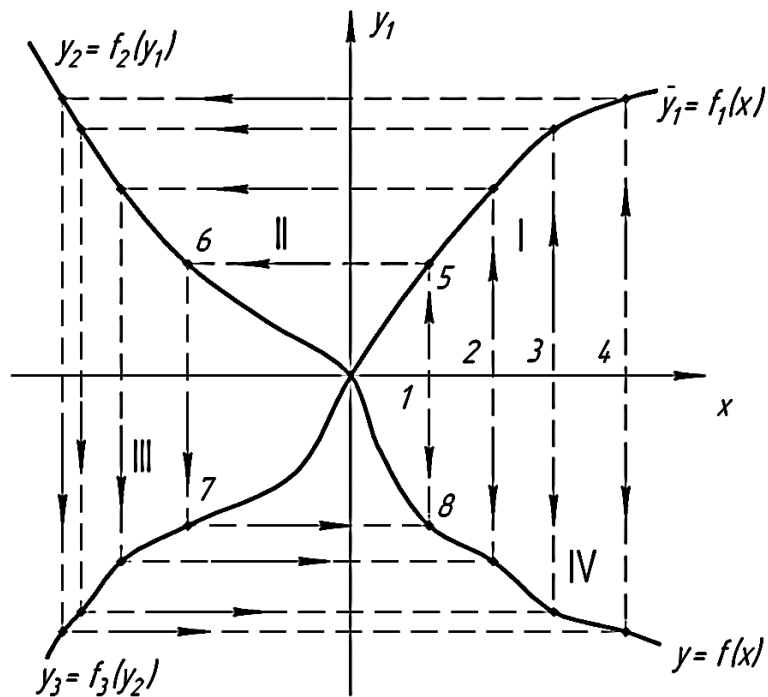


Рисунок 1 – Графическое построение статической характеристики датчика

### 1.1 Расчёт характеристик маятникового акселерометра

Схема датчика зависит от варианта задания, полученного от преподавателя. Структурная схема датчика представлена на рис. 2:

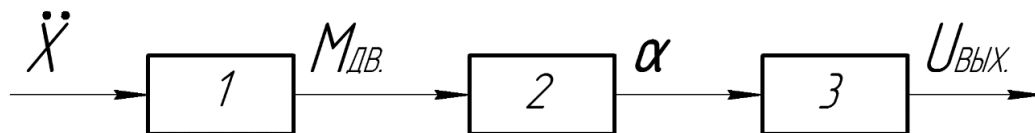


Рисунок 2 – Структурная схема датчика для первого варианта задания

Ускорение  $\ddot{X}$ , действующее на датчик, преобразуется системой в движущий момент  $M_{дв.}$ , поворачивающий маятник на угол, соответствующий  $\alpha$ . Вместе с маятником поворачивается двигатель потенциометра, который, передвигаясь по его обмотке, получает электрический потенциал, пропорциональный углу отклонения и, соответственно, действующему ускорению.

1. Уравнения преобразования каждого из звеньев. Для первого звена имеем:

$$M_{дв.} = m \cdot l \cdot \ddot{X} \cdot \cos \alpha \text{ (Н}\cdot\text{м)},$$

где  $m$  – масса чувствительного элемента,  $l$  – длина маятника,  $\ddot{X}$  – действующее ускорение.

При малых углах  $\alpha$  можно записать:

$$M_{ДВ.} = m \cdot l \cdot \ddot{X}. \quad (1)$$

Из выражения (1) получается характеристика первого звена в первой четверти, т.е. функция  $M_{ДВ.}(\ddot{X})$ .

2. Уравнение преобразования второго звена:

$$c \cdot \alpha = M_{ДВ.}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – максимальный угол разворота маятника.

Отсюда

$$c = \frac{M_{ДВ.}}{\alpha} \quad (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Отметим, что в связи с тем, что в формуле для расчёта геометрических размеров пружины назначается угол в радианах,  $\alpha$  следует взять в радианах, т.е.

$$\alpha_{РАД} = \frac{\pi}{180} \alpha_{ГРАД}.$$

На основе выражения (2) строится статическая характеристика во второй четверти, т.е.  $\alpha(M_{ДВ.})$ .

3. Уравнение преобразования третьего звена:

$$\alpha \div U_{ВЫХ.},$$

где  $U_{ВЫХ.}$  – выходное напряжение.

Для построения в третьей четверти характеристики третьего звена необходимо иметь в виду, что в задании указано напряжение питания потенциометра и максимальный угол отклонения маятника при воздействии ускорения одного знака. Таким образом, при воздействии максимального ускорения одного знака на движке потенциометра будет:

$$U_{ВЫХ.} = \frac{U_{ПОТ.}}{2}.$$

4. В четвёртой четверти строится характеристика  $U_{ВЫХ.}(\dot{X})$ .

Очевидно, что угол отклонения маятника определяется жёсткостью пружины в соответствии с выражением (2). Создаётся противодействующий момент:

$$M = \frac{bh^3 E \varphi}{12l}, \quad (\text{Н} \cdot \text{м}) \quad (3)$$

здесь:  $b$  – ширина ленты пружины (м);  $h$  – толщина ленты (м);  $l$  – развёрнутая длина пружины (м);  $E$  – модуль упругости (Н/м<sup>2</sup>);  $\varphi$  – угол закручивания пружины (рад).

Развёрнутая длина пружины:

$$L = \pi n(r + r_1),$$

где  $n$  – число витков;  $r$  – наружный радиус пружины (м);  $r_1$  – внутренний радиус пружины (м).

Пружина изготавливается из бериллиевой бронзы марки БрБ2, т.е.  $E = 11 \cdot 10^{10}$  (Н/м).

Очевидно, что  $M = c$ . Таким образом, из выражения (3) можно выбрать геометрические размеры пружины. При этом необходимо руководствоваться следующими конструктивными соображениями:

- $n=0.1 \div 0.3$  мм.
- $b=5 \div 8$  мм.
- $r=5 \div 12$  мм.

## 1.2 Расчёт характеристик маятникового датчика угла

Схема датчика приводится в варианте задания.

Структурная схема преобразователя представлена на рис. 3.

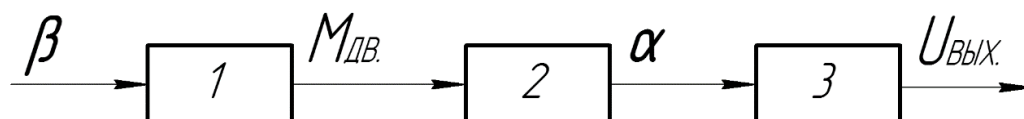


Рисунок 3 – Структурная схема датчика для второго варианта задания

Угол отклонения от горизонта  $\beta$  преобразуется маятниковой системой измерения в движущий момент  $M_{дв.}$ , который поворачивает маятник на угол  $\alpha$ . Вместе с маятником поворачивается двигатель потенциометра, который, передвигаясь по его обмотке, снимает электрический потенциал, пропорциональный углу отклонения  $\alpha$  и, соответственно, измеряемому углу  $\beta$ .

Составим уравнения преобразования каждого из звеньев.

Для первого звена имеем:

$$M = mgl \sin \beta, \quad (4)$$

где  $m$  – масса чувствительного элемента (кг);  $l$  – длина маятника (М);  $g$  – сила тяжести (м/с<sup>2</sup>);  $\beta$  – измеряемый угол (градусы).

Из выражения (4) строится статическая характеристика в первой четверти, т.е.  $M_{дв.}(\beta)$ .

Уравнение преобразования второго звена соответствует выражению (2):

$$c \cdot \alpha = M_{дв.}$$

На основе этого уравнения строится характеристика во второй четверти.

Уравнение преобразования третьего звена также аналогично предыдущему варианту:

$$\alpha \div U_{вых.}$$



Таким образом, строится характеристика  $U_{ВЫХ}(\beta)$ .

Особенностью выполнения расчёта по второму варианту является то, что выходной сигнал датчика должен быть линейным. Для этого строится сначала линейная характеристика в четвёртой четверти и уже по ней – нелинейная характеристика потенциометра в третьей четверти. Остальные расчеты производятся аналогично варианту 1.

### 1.3. Расчёт характеристик осевого акселерометра

Схема датчика приведена в варианте задания.

Структурная схема преобразователя представлена на рис. 4.

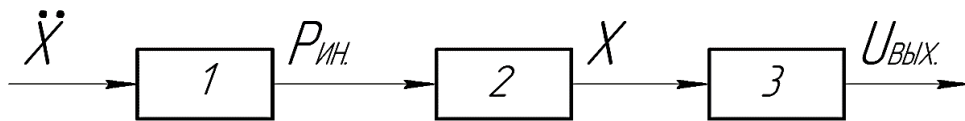


Рисунок 4 – Структурная схема датчика для третьего варианта задания

Действующее на датчик ускорение  $\ddot{X}$  преобразуется измерительной системой в инерционную силу  $P_{ин.}$

Согласно второму закону Ньютона:

$$P_{ин.} = m \times \ddot{X} \text{ (Н)}, \quad (5)$$

где  $m$  – масса (кг);  $\ddot{X}$  – действующее ускорение.

Из выражения (5) строится характеристика  $P_{ин.}(\ddot{X})$  в первой четверти.

Уравнение преобразования второго звена:

$$P_{ин.} = P_{упр.} = cX,$$

где  $P_{упр.}$  – сила упругости пружины;  $c = \frac{m\ddot{X}}{X}$  – жёсткость пружины (Н/м);  $X$  – линейное перемещение чувствительной массы (м).

Во второй четверти строится характеристика  $X(P_{ин.})$ . Уравнение преобразования третьего звена:

$$X \div U_{ВЫХ.}$$

Характеристика звена  $U_{ВЫХ.}(X)$  строится аналогично двум предыдущим примерам. В итоге построим характеристику  $U_{ВЫХ.}(\ddot{X})$ .

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист с фамилией студента и номером варианта задания;
- исходные данные для расчёта или карточку с заданием;
- результаты расчётов в соответствии с заданием.

К защите лабораторной работы студенты могут подготовиться, используя вопросы по темам 1 и 2, предложенные в приложении 2.

## 2. Указания к выполнению лабораторной работы №2 "Расчёт динамических характеристик датчиков"

Задание на выполнение этой лабораторной приводится в тех же вариантах заданий. Рассмотрим последовательность расчётов.

1. Определение собственной частоты недемпфированных колебаний маятникового акселерометра производится по формуле:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{mgl + c}{J}} \quad (1/\text{сек}),$$

где  $J = J_{\text{чз}} + J_{\text{дон}}$ .

Учитывая, что  $J_{\text{дон}}$  задано,  $J_{\text{чз}} = ml^2$ , то вычисление  $J$  не составляет труда.

2. Круговая частота колебаний демпфированной системы определяется из выражения:

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 - \xi^2}$$

3. Частота колебаний в Гц:

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

4. Расчёт АЧХ производим по формуле:

$$U = \frac{1}{\sqrt{(1 - \gamma^2)^2 + 4\xi^2\gamma^2}},$$

где  $\gamma = \frac{\omega_{\text{тек}}}{\omega_0}$ ;  $\omega_{\text{тек}}$  – текущее значение  $\omega$ , которое берётся при расчёте АЧХ.

Рекомендуется выполнять построение АЧХ в осях  $\frac{A_{\text{ввх}}}{A_{\text{вх}}}(U)$  и  $\frac{A_{\text{ввх}}}{A_{\text{вх}}}(\omega)$ .

Для оптимизации измерительной системы в соответствии с требованиями задания  $\xi_{\text{опт}}$  выбирается из соответствующей таблицы 1 или 2.

Таблица 1. Зависимость оптимальной степени успокоения, рассчитанной по критерию минимума длительности переходного процесса, от погрешности и длительности переходного процесса

$\Delta$	0	$\pm 0,025$	$\pm 0,05$	$\pm 0,1$	$\pm 0,25$
$\xi_{\text{опт}}$	1,0	0,76	0,69	0,59	0,404
$\tau_{\text{пн}}$	$\infty$	2,83	2,6	2,32	1,95

Таблица 2. Зависимость оптимальной степени успокоения, рассчитанной по критерию максимума ширины полосы пропускания частот, от погрешности и длительности переходного процесса

$\Delta$	0	$\pm 0,025$	$\pm 0,05$	$\pm 0,1$	$\pm 0,25$
$\xi_{opt}$	0,707	0,626	0,590	0,540	0,447
$\gamma_{np}$	0	0,737	0,876	1,04	1,31

Частота собственных колебаний недемпфированной системы:

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 - \xi^2} \quad (c^{-1})$$

то же в Гц:  $f = \frac{\omega}{2\pi}$

Действительная полоса пропускания:

$$\omega_{np.} = \gamma_{np.} \omega_0,$$

значение  $\gamma_{np.}$  также берётся из таблицы в лекциях.

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

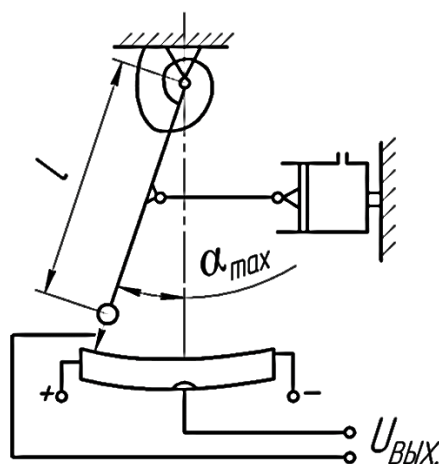
- титульный лист с фамилией студента и номером варианта задания;
- исходные данные для расчёта или карточку с заданием;
- результаты расчётов в соответствии с заданием.

К защите лабораторной работы студенты могут подготовиться, используя вопросы по темам 3 и 4, предложенные в приложении 2.

Варианты заданий

Карточка №1

Рассчитать характеристики маятникового акселерометра, схема которого приведена на рисунке, а параметры представлены в таблице



	№ варианта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Макс. ускорение	±2,5g	±3g	±4,6g	±5g	±2,5g	±3g	±4,6g	±5g
$\alpha_{\max}$	±3°	±5°	±4°	±6°	±3°	±5°	±4°	±6°
$l$ (мм)	110	100	110	120	110	100	110	120
$m$ (кг)	0,02	0,04	0,01	0,03	0,02	0,04	0,01	0,03
$J_{\text{доп.элемент}}$	$1,5 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$							
$U_{\text{пот}}$ (В)	8	10	12	15	8	10	12	15
Угол закр. пружины	$\frac{3}{2}\pi$				$\frac{5}{2}\pi$			

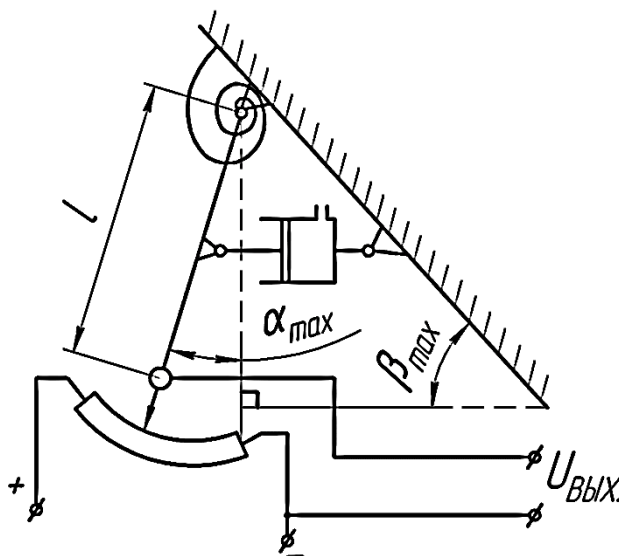
Трением в оси пренебречь

Требуется

1. Нарисовать структурную схему акселерометра.
2. Построить статическую характеристику, рассчитать и указать параметры пружины.
3. Оптимизировать параметры датчика по минимуму длительности переходного процесса. При этом относительное значение допустимой ошибки  $\Delta = \pm 0,25$ . Произвести расчёт оптимального коэффициента демпфирования (степени успокоения), минимальной длительности переходного процесса, частоты собственных колебаний демпфированной системы.
4. Рассчитать и построить амплитудно-частотную характеристику датчика.
5. Определить рабочий диапазон частот.

## Карточка №2

Рассчитать характеристики маятникового датчика угла места, схема которого приведена на рисунке, а параметры представлены в таблице



	№ варианта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Диапазон угла ( $\beta_{\max}$ )	+20°	+30°	+40°	+50°	+20°	+30°	+40°	+50°
$\alpha_{\max}$	6	10	15	25	5	15	20	30
$l$ (мм)	110	100	110	120	110	100	110	120
$m$ (кг)	0,02	0,04	0,01	0,03	0,02	0,04	0,01	0,03
$J_{\text{доп.элемент}}$	$1,5 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$							
$U_{\text{пот}}$ (В)	8	10	12	15	8	10	12	15
Угол закр. пружины	$\frac{3}{2}\pi$				$\frac{5}{2}\pi$			

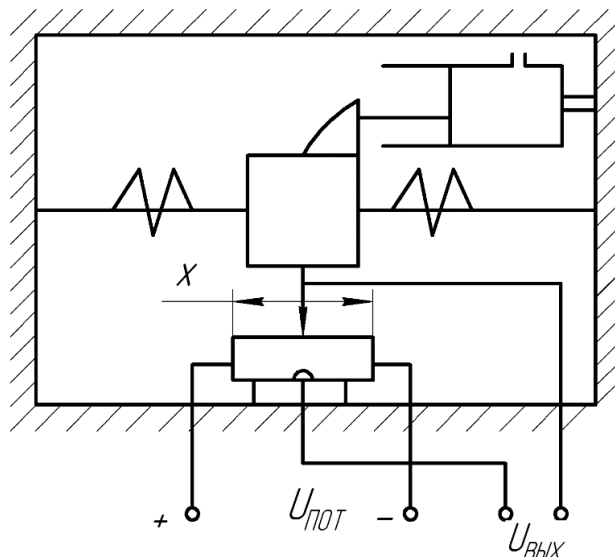
Трением в оси пренебречь.

Требуется

1. Нарисовать структурную схему датчика.
2. Рассчитать статическую характеристику прибора таким образом, чтобы выходной сигнал линейно зависел от измеряемого угла. Рассчитать и указать параметры пружины
3. Оптимизировать параметры датчика по минимуму длительности переходного процесса. При этом относительное значение допустимой ошибки  $\Delta = \pm 0,25$ . Произвести расчёт оптимального коэффициента демпфирования (степени успокоения), минимальной длительности переходного процесса, частоты собственных колебаний демпфированной системы.
4. Рассчитать и построить амплитудно-частотную характеристику датчика.
5. Определить рабочий диапазон частот.

### Карточка №3

Рассчитать характеристики осевого акселерометра, схема которого приведена на рисунке, а параметры указаны в таблице



	№ варианта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Макс. ускорение	±2,5g	±3g	±4,6g	±5g	±2,5g	±3g	±4,6g	±5g
Перем. чувств. массы (мм)	±10	±15	±20	±25	±10	±15	±20	±25
$\Delta \pm$	0,05	0,1	0,1	0,05	0,05	0,1	0,1	0,05
$m$ (кг)	0,025	0,03	0,035	0,04	0,004	0,03	0,035	0,045
$U_{\text{ПОНТ}}$ (В) ±	8	10	12	15	10	15	20	25

Трением в оси пренебречь.

Требуется

1. Нарисовать структурную схему акселерометра.
2. Построить статическую характеристику.
3. Оптимизировать параметры датчика по максимуму полосы пропускания частот. При этом относительное значение допустимой ошибки указано в таблице. Произвести расчёт оптимального коэффициента демпфирования (степени успокоения), минимальной длительности переходного процесса, частоты собственных колебаний демпфированной системы.
4. Рассчитать амплитудно-частотную и фазовую частотную характеристики датчика, построить их.
5. Определить рабочий диапазон частот.

**Перечень вопросов с ключами ответов для проверки знаний студентов при защите лабораторных работ**

**Тема 1**

1. Случайный процесс называют центрированным, если:

1. Математическое ожидание данного процесса равно нулю.

2. Незначительно изменяются в процессе измерения условия, определяющие протекание данного процесса.

3. Если все моменты его распределения (мат. ожидание; дисперсия; СКО и т.д.) не изменяются при любом сдвиге начала отсчёта вдоль оси времени.

2. Взаимная корреляционная функция характеризует:

1. Среднее во времени значение за промежуток времени  $T \rightarrow \infty$  от произведения случайных величин  $X(t)$  и  $X(t + \tau)$ , взятых в неопределённом процессе в любые два момента времени и отличающихся друг от друга на определённый промежуток времени  $\tau$ .

2. Взаимосвязь двух разных случайных процессов между собой в различные моменты времени, отстоящие друг от друга на величину  $\tau$ .

3. Корреляционная функция стационарного случайного процесса характеризует:

1. Связь двух случайных процессов, отличающихся между собой, в несовпадающие моменты времени, отстоящие друг от друга на величину  $\tau$ .

2. Среднее во времени значение за промежуток времени  $T \rightarrow \infty$  от произведения случайных величин  $X(t)$  и  $X(t + \tau)$ , взятых в неопределённом процессе в любые два момента времени и отличающихся друг от друга на определённый промежуток времени  $\tau$ .

4. В соответствии с ГОСТ 8.256 к полным динамическим характеристикам системы с сосредоточенными параметрами относятся:

1. Совокупность амплитудной и фазочастотной характеристик.

2. Дифференциальное уравнение, импульсная характеристика, переходная характеристика, передаточная функция, совокупность амплитудной и фазочастотной характеристик.

3. Дифференциальное уравнение, импульсная характеристика, переходная характеристика, передаточная функция, корреляционная функция, совокупность амплитудной и фазочастотной характеристик.

5. Случайный процесс называют стационарным, если:

1. Математическое ожидание данного процесса равно нулю.

2. Все условия, определяющие его протекание, слабо изменяются в процессе измерения.

3. Если мат. ожидание, дисперсия и СКО являются постоянными при условии сдвига начала отсчёта протекания процесса вдоль оси времени.

6. Для математического описания детерминированных сигналов используют:

1. Аналитические функции.

2. Случайные функции.

7. Если сигнал центрирован, то является ли он стационарным?

1. Да, является.

2. Нет, не является.

8. Энтропия информации – это:

1. мера неопределённости исхода случайного опыта или события,

2. мера количества информации за единицу времени.

9. Условная энтропия характеризует:

1. количество информации от источника функционально, связанного с измеряемым процессом,

2. неопределённость одного процесса по результатам наблюдения другого процесса.

10. Если процесс эргодический, то среднее значение моментов распределения отрезков реализации равно значению моментов распределения всей реализации?

1. Да, равно.

2. Нет, не равно.

11. Если случайная функция является нормальной (наблюдается нормальный закон распределения):

1. Математическое ожидание и корреляционная функция ее определяют полностью.

2. Корреляционная функция полностью ее определяет.

3. Мат. ожидание и дисперсия данную функцию определяют.

12. Если значения взаимной корреляционной функции равны нулю, это означает:

1. Процессы центрированы.

2. Процессы между собой не связаны.

13. Может ли энтропия быть отрицательной?



1. Да, может, для системы с конечным числом состояний.
2. Нет, не может.

14. Какое значение имеет энтропия, если все события равновероятны?

1. Максимальное значение.
2. Равна нулю.

15. Условная энтропия характеризует:

1. Хаотичность и отсутствие закономерности данного процесса по результатам наблюдения другого процесса.
2. Предполагаемое значение информации по результатам получения зашумлённого сигнала.

## Тема 2

1. Выражение для чувствительности при параллельном соединении звеньев имеет вид:

$$1. S = S_1 S_2 \dots S_n .$$

$$2. S = S_1 + S_2 + \dots + S_n .$$

$$3. S = \frac{S_1}{1 \mp S_1 S_2} .$$

2. Выражение для чувствительности системы с обратной связью имеет вид:

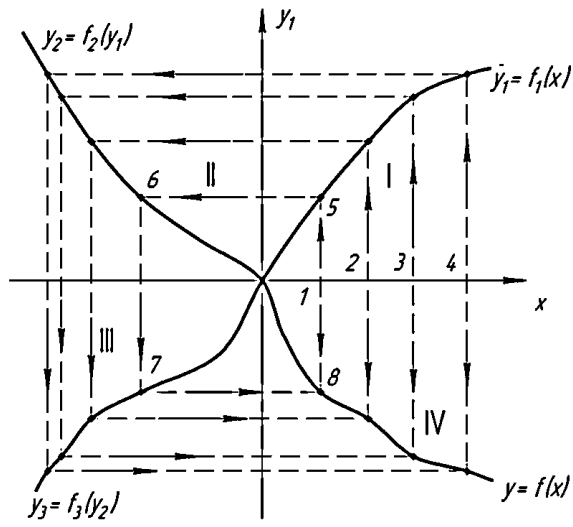
$$1. S = S_1 S_2 \dots S_n$$

$$2. S = S_1 + S_2 + \dots + S_n$$

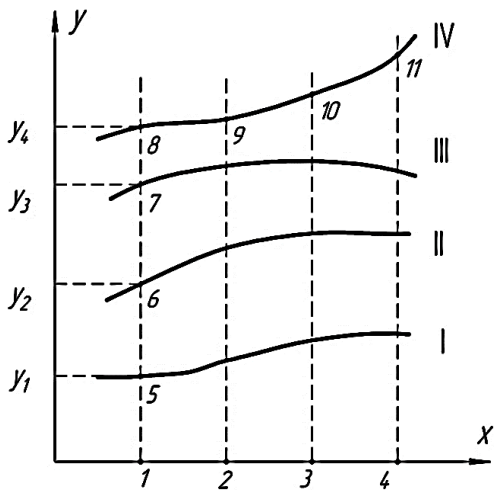
$$3. S = \frac{S_1}{1 \mp S_1 S_2}$$

3. Какой из рисунков иллюстрирует расчёт статической характеристики системы с параллельным соединением звеньев?

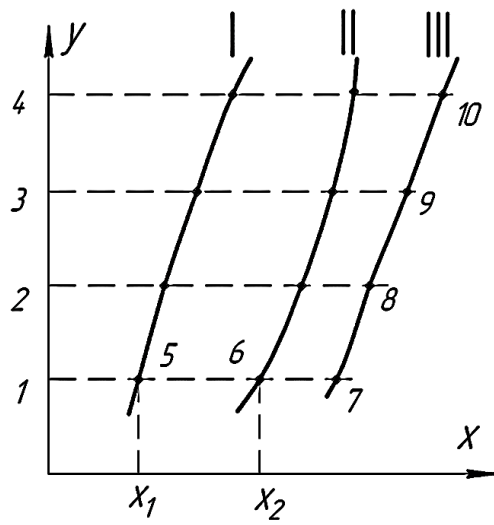
1.



2.

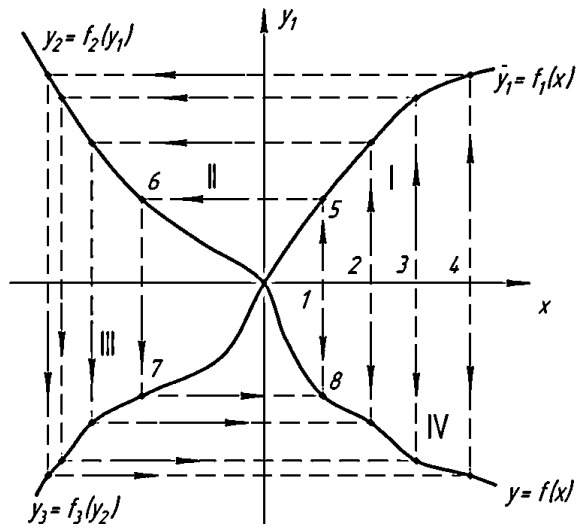


3.

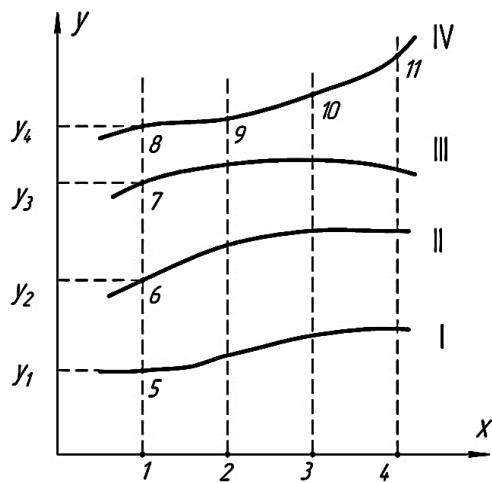


4. Какой из рисунков иллюстрирует расчёт статической характеристики системы с последовательным соединением звеньев?

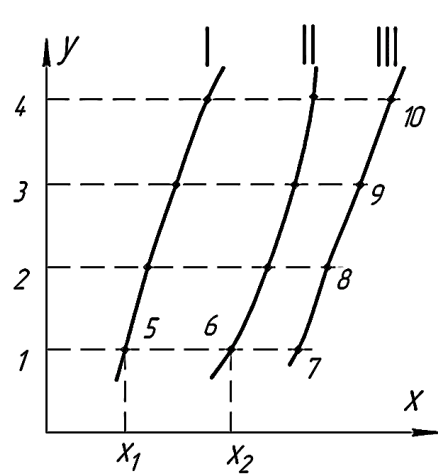
1.



2.

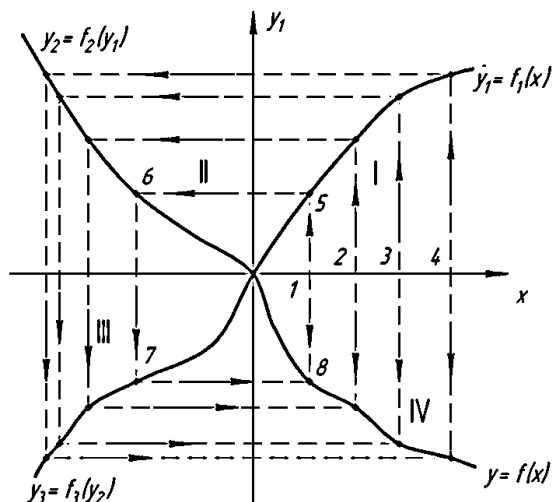


3.

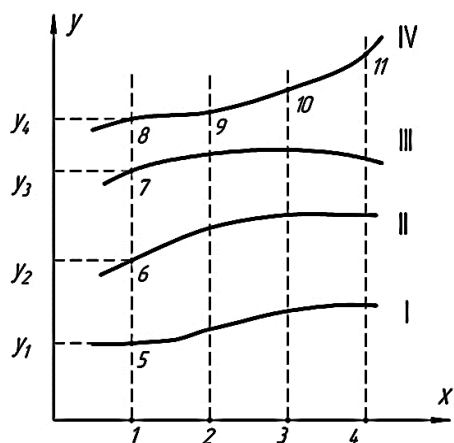


5. Какой из рисунков иллюстрирует расчёт статической характеристики системы с встречно – параллельным соединением звеньев?

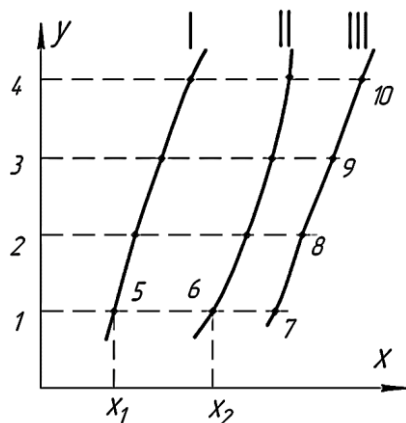
1.



2.



3.



6. На каком из рисунков изображена статическая характеристика прибора, учитывающая зону нечувствительности?

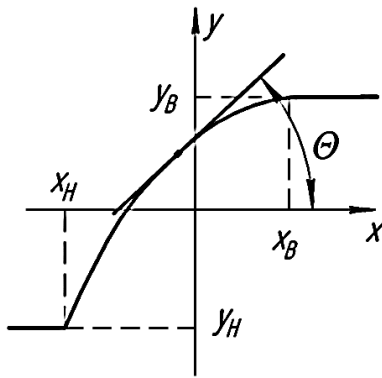


Рисунок 1

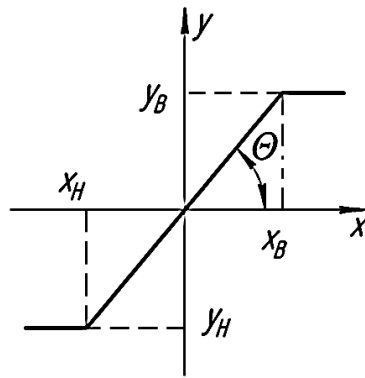


Рисунок 2

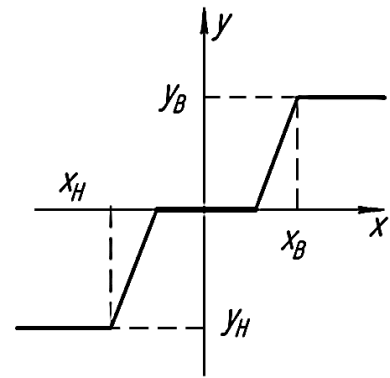
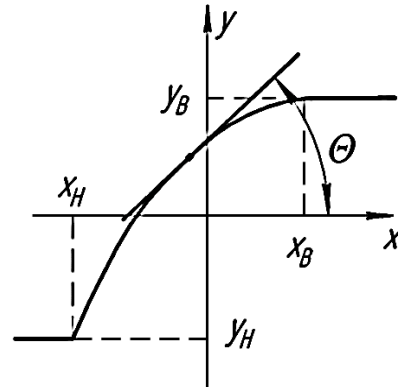
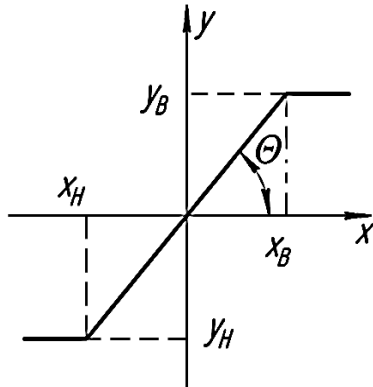


Рисунок 3

1. на рис. 1
2. на рис. 2
3. на рис. 3

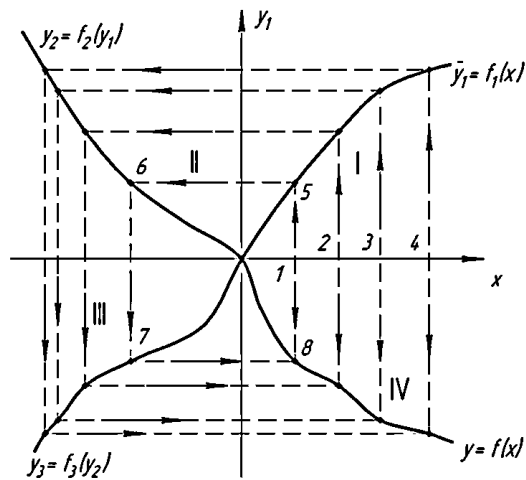
7. Угол  $\theta$  на статических характеристиках приборов определяет:



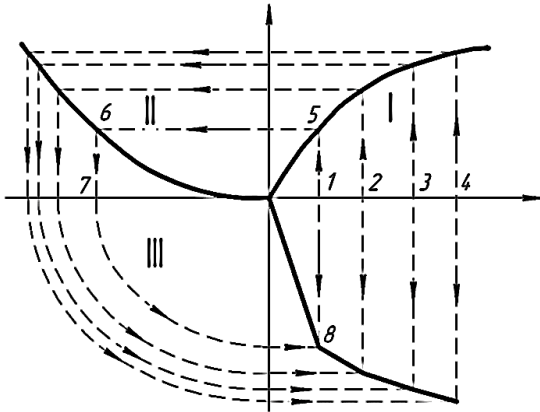
1. Градуировочный (масштабный) коэффициент.
2. Зону нечувствительности.

8. В том случае, если два звена соединены последовательно, какой из рисунков иллюстрирует построение их суммарной статической характеристики?

1.



2.



9. Метод последовательного преобразования сигналов в приборе относится:

1. К замкнутым системам.
2. К разомкнутым системам.

10. Компенсационный метод преобразования сигналов в приборе относится:

1. К замкнутым системам.
2. К разомкнутым системам.

11. Статическая характеристика прибора описывается:

1. Дифференциальным уравнением.
2. Алгебраическим уравнением.

12. Зона нечувствительности датчиков для измерения механических величин определяется:

1. Их динамическими характеристиками.
2. Трением в осях и люфтами в передачах.

13. Для того чтобы рассчитать статическую характеристику прибора, на начальном этапе:

1. Необходимо сложить статические характеристики звеньев.
2. Необходимо решить дифференциальное уравнение его работы.
3. Необходимо определить статические характеристики всех преобразующих звеньев.

14. Выражение для чувствительности устройства, состоящего из двух встречно-параллельных звеньев, имеет вид:  $S = \frac{S_1}{1 \mp S_1 S_2}$ . При этом:

1. Знак “+” отвечает положительной обратной связи, а знак “-” отрицательной.

2. Знак “–” отвечает положительной обратной связи, а знак “+” отрицательной.

15. Для компенсации входного сигнала используется система:

1. С отрицательной обратной связью.
2. С положительной обратной связью.

### Тема 3

1. Динамическим звеном называется:

1. Устройство любой физической природы и любой конструкции, описываемое дифференциальным уравнением.
2. Устройство, имеющее линейную или нелинейную характеристику в рабочем диапазоне частот.

2. Передаточной функцией динамического звена называется:

1. Отношение модулей математических описаний входного и выходного сигналов.
2. Отношение изображений по Лапласу выходной и входной величин при нулевых начальных условиях.
3. Отношение изображений по Лапласу выходной и входной величин при ненулевых начальных условиях.

3. Позиционными (статическими) называются звенья:

1. в которых в установившемся режиме существует линейная зависимость между входной и выходной величинами,
2. в которых в установившемся режиме выходная величина пропорциональна производной по времени от входной величины,
3. в которых в установившемся режиме линейная зависимость связывает входную величину и производную выходной величины.

4. Интегрирующими звеньями называются звенья:

1. в которых в установившемся режиме линейная зависимость связывает входную величину и производную выходной величины,
2. в которых в установившемся режиме выходная величина пропорциональна производной по времени от входной величины,
3. в которых в установившемся режиме существует линейная зависимость между входной и выходной величинами.

5. К дифференцирующим звеньям относятся звенья:

1. в которых в установившемся режиме выходная величина пропорциональна производной по времени от входной величины,

2. в которых в установившемся режиме линейная зависимость связывает входную величину и производную выходной величины,

3. в которых в установившемся режиме существует линейная зависимость между входной и выходной величинами.

6. Дифференциальным уравнением второго порядка описывается работа системы:

1. с сосредоточенными параметрами,
2. с распределёнными параметрами.

7. Передаточная функция апериодического звена первого порядка имеет вид:

$$1. \frac{k}{(1+T_1P)(1+T_2P)}.$$

$$2. \frac{k}{1+2\xi TP+T^2P^2}.$$

$$3. \frac{k}{1+TP}.$$

8. Относится ли совокупность амплитудно–частотной и фазовой частотной характеристик к полным динамическим характеристикам системы с сосредоточенными параметрами?

1. Нет, не относится.
2. Да, относится.

9. Частотными характеристиками называются зависимости:

1. Связывающие входную и выходную величины в установившемся режиме.

2. Связывающие выходную и входную величины звена в установившемся режиме, при условии, что входная величина изменяется по гармоническому закону.

10. Передаточная функция апериодического звена второго порядка имеет вид:

$$1. \frac{k}{(1+T_1P)(1+T_2P)}.$$

$$2. \frac{k}{1+2\xi TP+T^2P^2}.$$

$$3. \frac{k}{1+TP}.$$

11. Передаточная функция колебательного звена имеет вид:



$$1. \frac{k}{(1+T_1P)(1+T_2P)}.$$

$$2. \frac{k}{1+2\xi TP+T^2P^2}.$$

$$3. \frac{k}{1+TP}.$$

12. В правой части дифференциального уравнения находятся:

1. Силы реакции измерительной системы на возмущения.
2. Возмущающие силы.

13. Деление измерительной системы на звенья производится таким образом, чтобы:

1. Каждый из элементов измерительной системы описывался своим звеном.
2. Возможна замена одного элемента сочетанием двух и более звеньев.

14. Относится ли интегрирующее звено к позиционным?

1. Нет, не относится.
2. Да, относится.

15. Относится ли дифференцирующее звено к позиционным?

1. Нет, не относится.
2. Да, относится.

#### Тема 4

1. Выражение для круговой частоты собственных недемпфированных колебаний системы имеет вид:

$$1. \omega_0 = \sqrt{\frac{J}{C_{жс}}},$$

$$2. \omega_0 = \sqrt{\frac{K_{\partial}}{2J}},$$

$$3. \omega_0 = \sqrt{\frac{C_{жс}}{J}},$$

где  $J$  – момент инерции подвижной системы;  $K_{\partial}$  – коэффициент углового демпфирования;  $C_{жс}$  – угловая жёсткость

2. Система с сосредоточенными параметрами это:

1. Система с одной степенью свободы.

2. Система, у которой массу чувствительного элемента можно считать сосредоточенной в одной точке.

3. Система с несколькими степенями свободы, параметры которой (жёсткость, демпфирование и т.д.) определяются коэффициентами уравнения.

3. Выражение для степени успокоения системы с сосредоточенными параметрами имеет вид:

$$1. \xi = \frac{C_{жс}}{2\sqrt{JK_{\delta}}},$$

$$2. \xi = \frac{K_{\delta}}{2\sqrt{JC_{жс}}},$$

$$3. \xi = \frac{J}{2\sqrt{K_{\delta}C_{жс}}},$$

где  $J$  – момент инерции подвижной системы;  $K_{\delta}$  – коэффициент углового демпфирования;  $C_{жс}$  – угловая жёсткость

4. Характеристическое уравнение моментов системы с сосредоточенными параметрами имеет вид:

$$1. J\ddot{\alpha} + K_{\delta}\dot{\alpha} + C_{жс}\alpha = Q,$$

$$2. JP^2 + K_{\delta}P + C_{жс} = 0,$$

где  $J$  – момент инерции подвижной системы;  $K_{\delta}$  – коэффициент углового демпфирования;  $C_{жс}$  – угловая жёсткость;  $Q$  – момент внешних сил.

5. Круговая частота колебаний демпфированной системы определяется из выражения:

$$1. \omega = C_{жс}\sqrt{1-\xi^2},$$

$$2. \omega = K_{\delta}\sqrt{1-\xi^2},$$

$$3. \omega = \omega_0\sqrt{1-\xi^2},$$

где  $K_{\delta}$  – коэффициент углового демпфирования;  $C_{жс}$  – угловая жёсткость;  $\omega_0$  – круговая частота собственных недемпфированных колебаний системы;  $\xi$  – степень успокоения системы.

6. Выражение для собственной частоты колебаний в Гц. Имеет вид:

$$1. f = \frac{\omega}{2\pi}.$$

$$2. f = \frac{\omega}{\pi}.$$

$$3. f = \frac{2\pi}{\omega}.$$

7. Период колебаний определяется из выражения:

$$1. T = \frac{2\pi}{\omega}.$$

$$2. T = \frac{\pi}{\omega}.$$

$$3. T = \frac{\omega}{2\pi}.$$

8. Логарифмический декремент затухания определяется из выражения:

$$1. D = \frac{\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}},$$

$$2. D = \frac{\pi K_d}{\sqrt{1-K_d^2}},$$

$$3. D = \frac{\pi\xi^2}{\sqrt{1-\xi^2}},$$

где  $K_d$  - коэффициент углового демпфирования;  $\xi$  – степень успокоения системы.

9. Действительная длительность переходного процесса определяется из выражения:

$$1. t_{nn} = \frac{\tau_{nn}}{\omega},$$

$$2. t_{nn} = \frac{\tau_{nn}}{\omega_0},$$

$$3. t_{nn} = \frac{\tau_{nn}}{\omega - \omega_0},$$

где  $\omega_0$  – круговая частота собственных недемпфированных колебаний системы;  $\tau_{nn}$  – безразмерная длительность переходного процесса;  $\omega$  – круговая частота колебаний демпфированной системы.

10. Оптимизация измерительной системы второго порядка по длительности переходного процесса при заданной динамической погрешности

1. Увеличивает полосу пропускания.
2. Уменьшает полосу пропускания.

3. Не влияет на полосу пропускания.

11. Системы с распределёнными параметрами характеризуются:

1. Наличием одной степени свободы.
2. Наличием нескольких степеней свободы.
3. Наличием гармонических возмущений.

12. В том случае, если в правой части уравнения присутствует гармоническое воздействие  $x = A \sin \omega t$ , то с его помощью можно рассчитать:

1. Импульсную характеристику
2. Переходную характеристику.
3. Амплитудно-частотную и фазовую частотную характеристики.

13. В какой части дифференциального уравнения находится амплитуда входного воздействия ?

1. В правой части.
2. В левой части.

14. Первый член дифференциального уравнения второго порядка  $J\ddot{\alpha} + K_d\dot{\alpha} + C_{ж}\alpha = Q$  определяет:

1. Инерционные силы.
2. Демпфирующие силы.

15. Второй член дифференциального уравнения второго порядка  $J\ddot{\alpha} + K_d\dot{\alpha} + C_{ж}\alpha = Q$  определяет:

1. Инерционные силы.
2. Демпфирующие силы.

### Список литературы

1. Грязин Д.Г, Ткалич В.Л. Основы теории акселерометров. Учебное пособие. – СПб.: СПбГИТМО (ТУ), 1998. – 38 с.
2. Грязин Д.Г. Основы проектирования приборов и систем. Электронный ресурс ЦДО ИТМО.

Грязин Дмитрий Геннадиевич  
Перепелкина Светлана Юрьевна  
Абрамчук Михаил Владимирович

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу  
"Основы проектирования приборов и систем". Часть II.  
учебно-методическое пособие

В авторской редакции  
Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО  
Зав. РИО Н. Ф. Гусарова  
Подписано к печати  
Заказ №  
Отпечатано на ризографе

**Редакционно-издательский отдел**  
**Университета ИТМО**  
197101, Санкт-Петербург, Кронверский пр., 49