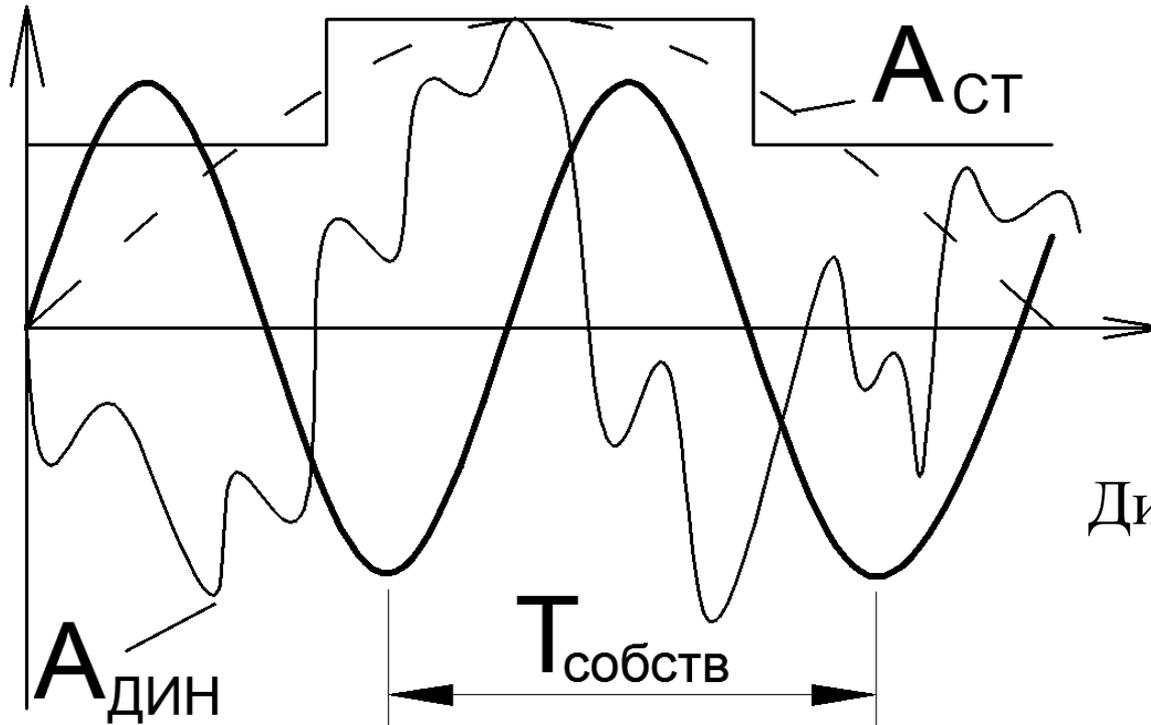




Основы испытания строительных конструкций и материалов динамическими нагрузками



Виды испытательных нагрузок



Статические
(квазистатические)
нагрузки

$$t \gg T$$

Динамические нагрузки

$$t \leq T$$

где t – время действия нагрузки

T – период собственных колебаний конструкции



Динамические испытания строительных конструкций

- это быстрое изменение во времени внешнего воздействия (то есть его величины, направления или места приложения), когда нельзя пренебречь влиянием сил инерции

Типичные динамические нагрузки

- вибрационная нагрузка, создаваемая работой механизмов с неуравновешенными массами, например, от компрессоров, вибростолов, грохотов, станков и др.
- динамическая составляющая ветровой нагрузки, которая оказывает существенное воздействие на высотные сооружения (мачты, дымовые трубы и др.) и многоэтажные здания высотой более 40 м;
- ударная нагрузка от действия копров, молотов и др.
- подвижная нагрузка от транспорта, кранов и др.



Задачи динамических испытаний

Определение параметров динамических воздействий

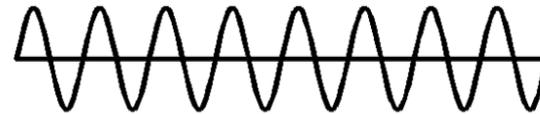
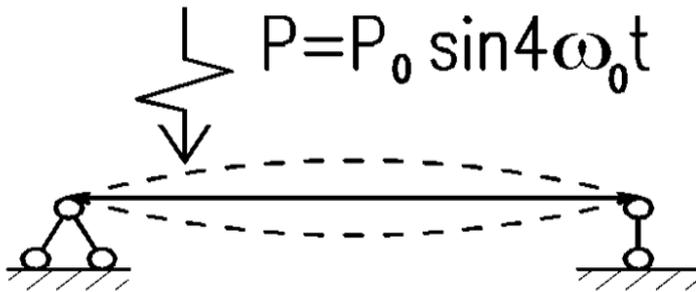
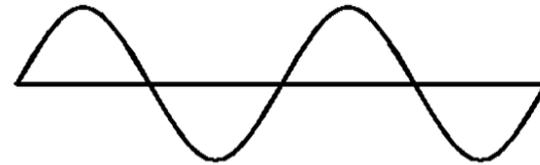
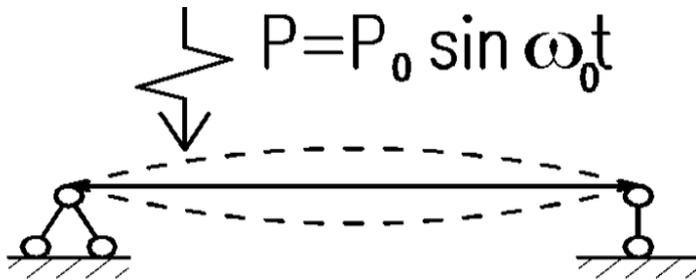
- амплитуда
- частота

Определение динамических характеристик конструкций

- получение амплитудно-частотных характеристик
- нахождение собственных форм колебаний конструкции
- определение характеристик рассеяния энергии при колебаниях



Испытания вибрационной нагрузкой



$$\omega = \frac{k^2 \pi^2}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI \cdot g}{q}}$$

$$\omega = 2\pi f$$

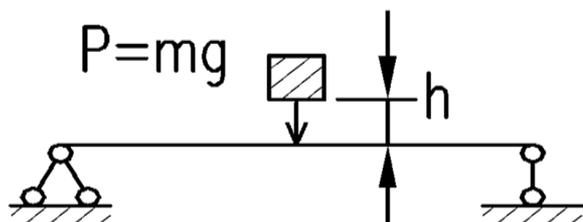
$$k = 1, 2, 3$$

q = погонный вес

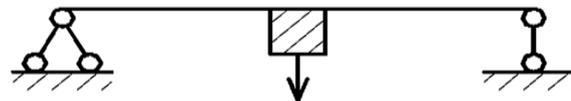


Испытания ударной нагрузкой

Прямой удар



Обратный удар



$$\sigma_{\partial} = k_{\partial} \cdot \sigma_{ст}$$

$$k_{\partial} = \frac{\omega_0 \cdot S}{P} \text{ — коэффициент динамичности при ударе}$$

где $\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{y_{ст}}}$

$$k_{\partial} = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y_{ст}}} \text{ — при любой скорости удара}$$

$$S = m \cdot V \text{ — ударный импульс}$$

$y_{ст}$ — статический прогиб балки от груза такой же массы



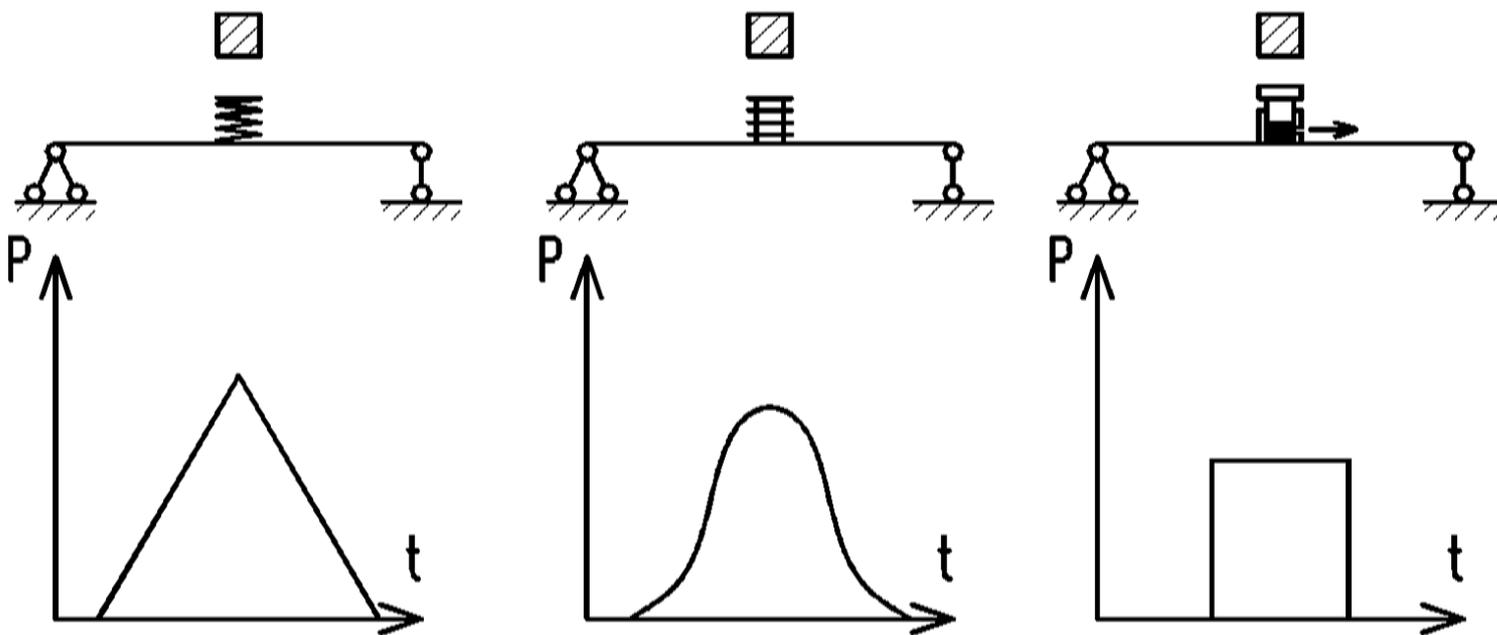
Испытания ударной нагрузкой

В случае свободного падения: $V = \sqrt{2g \cdot (h + k_{\delta} \cdot y_{cm})}$

$$k_{\delta} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{y_{cm}}}$$

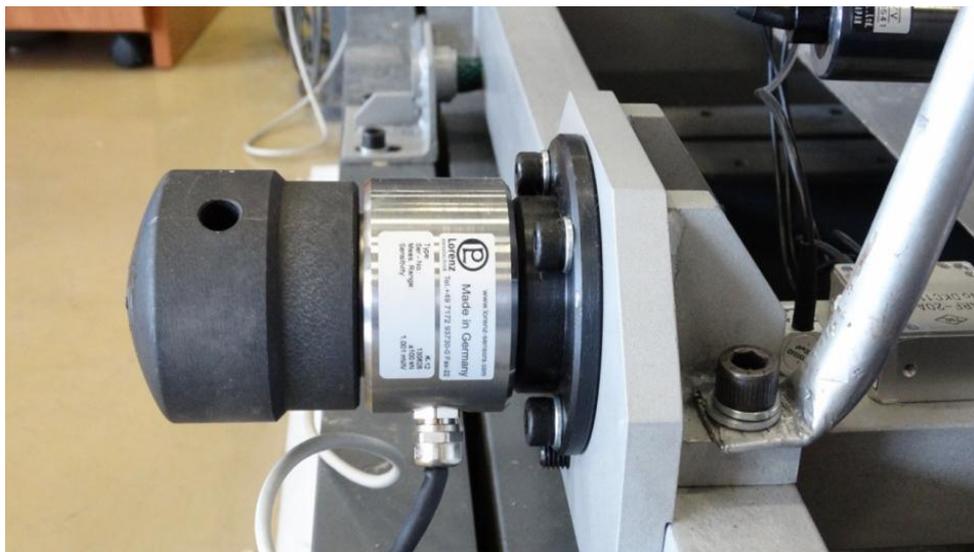
Изменение формы и продолжительности ударного импульса

Упругая прокладка Демпфирующая прокладка Масляный демпфер



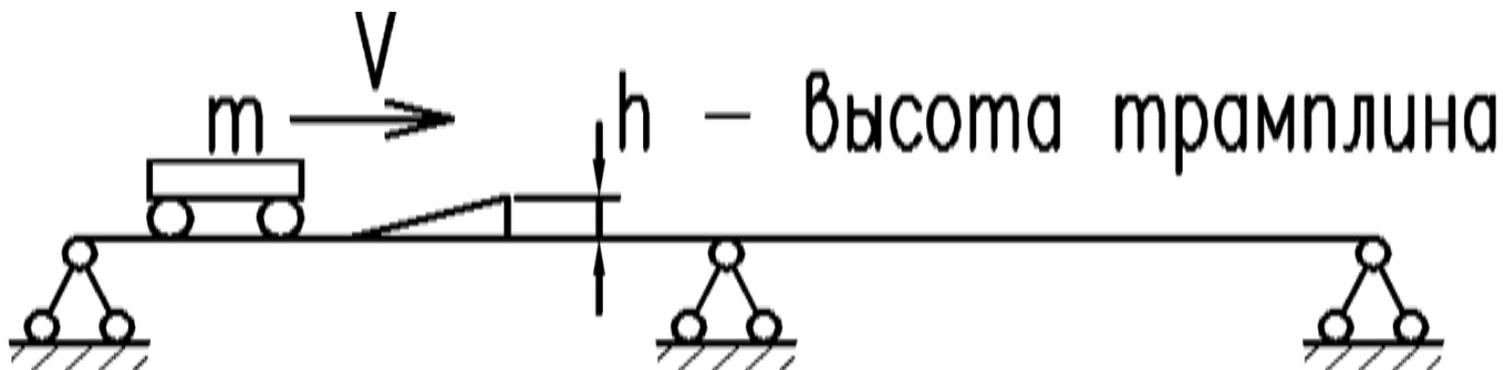


Пример





Испытания на удар подкрановых балок и крановых путей





Усталостные испытания

Цель:

Получение ресурса при заданной циклической нагрузке

Получение допустимого уровня нагрузки для нужного ресурса

Нагрузка:

Гармоническая (синусоидальная)

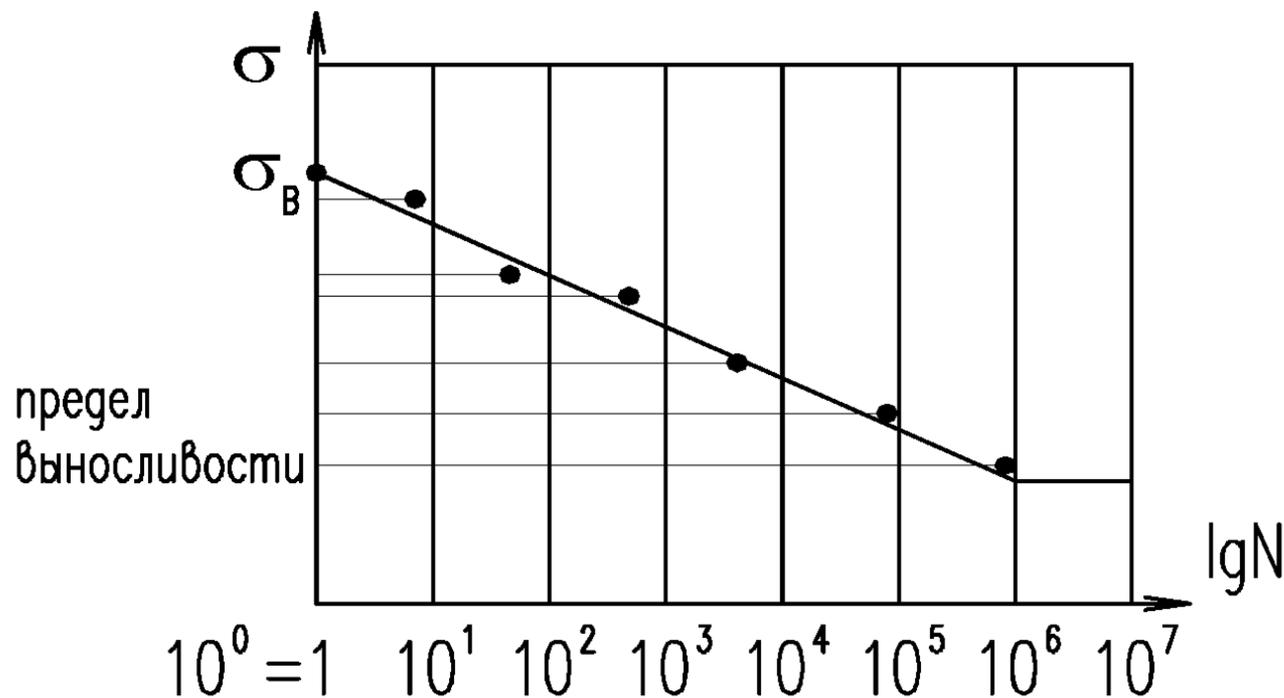
Случайная.

Объекты испытаний:

1. Гладкие образцы (зарождение трещины)
2. Образцы с дефектом (трещиной)
3. Фрагменты конструкций (узлы)
4. Отдельные конструкции (сосуды давления)



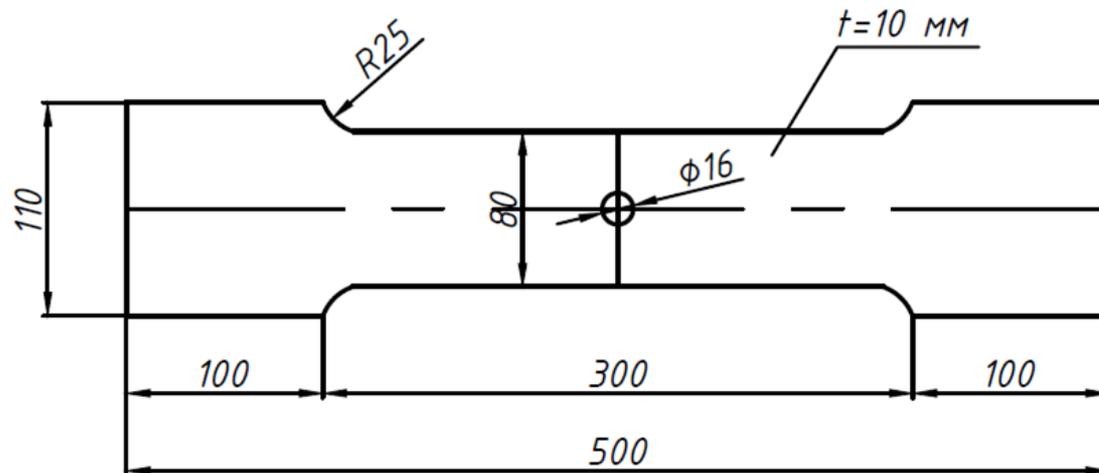
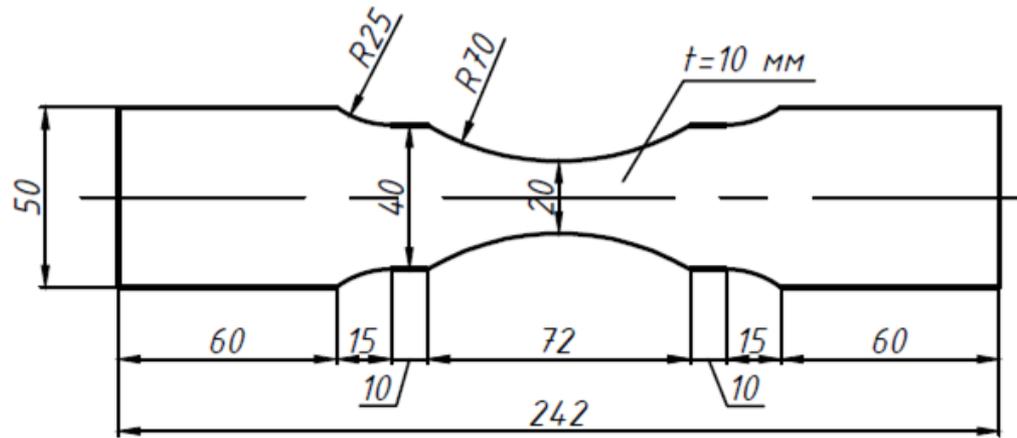
Диаграмма усталостных испытаний





Усталостные испытания

Примеры образцов для испытаний на усталость





Испытания на ударную вязкость

Для испытаний на ударную вязкость наибольшее распространение получили маятниковые копры

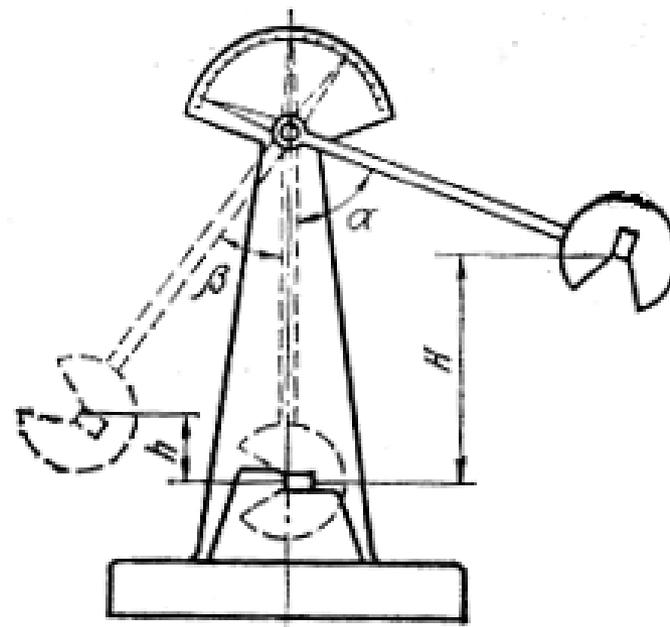
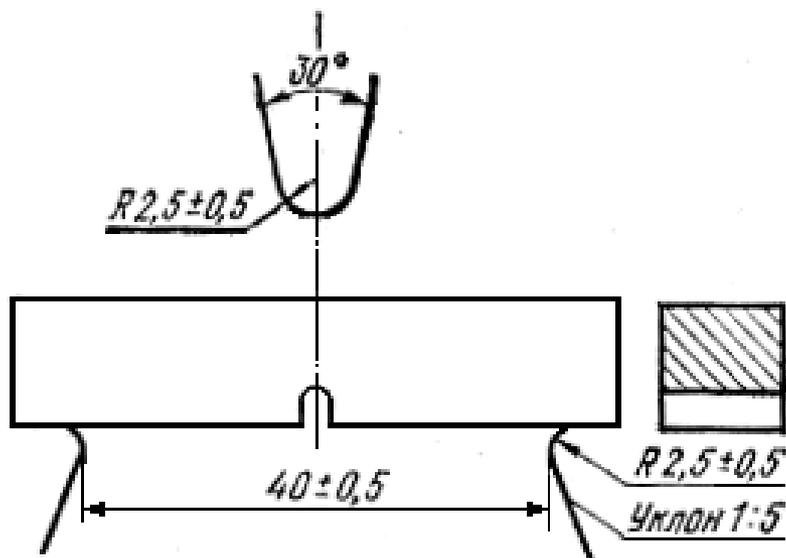


Схема испытания на ударный изгиб



В ходе испытаний определяется работа, затрачиваемая на пластическую деформацию и разрушение образца.

Ударная вязкость – отношение затраченной работы к площади поперечного сечения образца.



Механические вибрационные машины

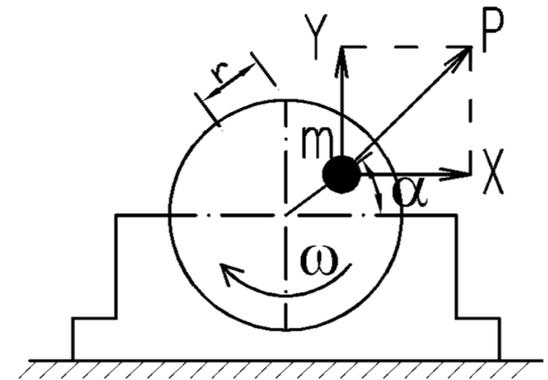
Ненаправленного действия

m – эксцентрик

$$P = m \cdot a = m\omega^2 r$$

$$X = m\omega^2 r \cos \alpha$$

$$Y = m\omega^2 r \sin \alpha$$



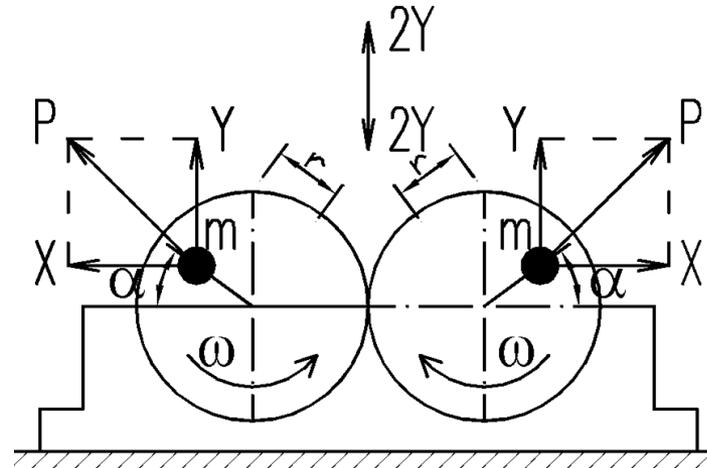
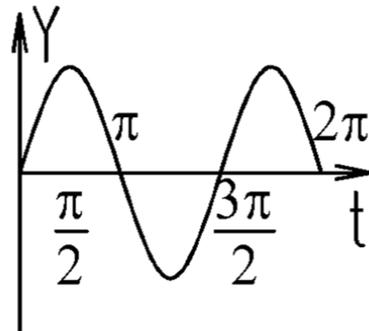
Механические вибрационные машины

Направленного действия. Гармонические колебания.

m – эксцентрик

$$X = m\omega^2 r(\cos \alpha - \cos \alpha) = 0$$

$$Y = 2m\omega^2 r \sin \alpha$$



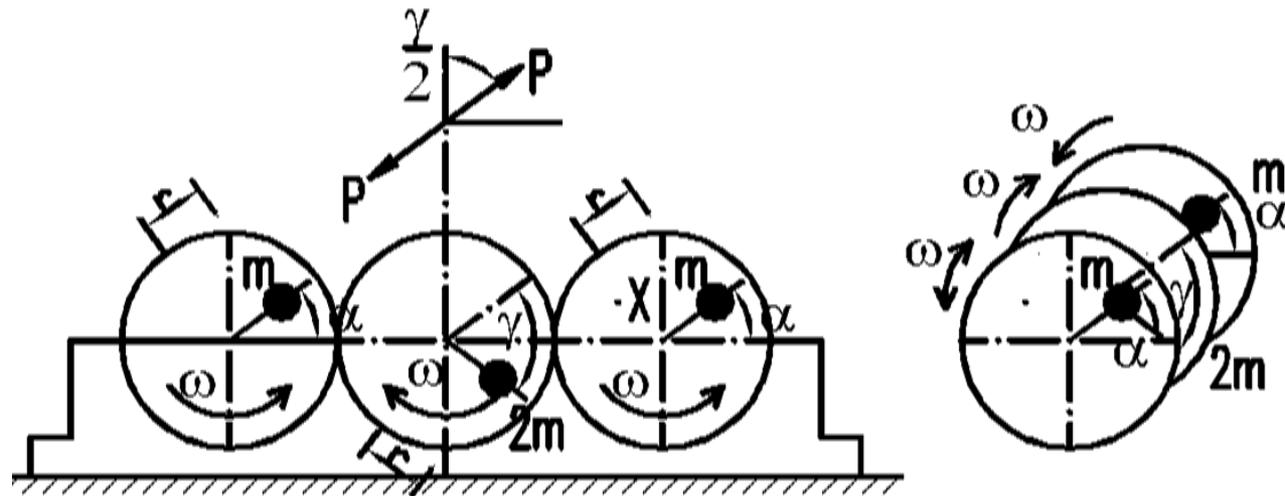


Механические вибрационные машины Направленного действия. Гармонические колебания.

$$P = 4m\omega^2 r$$

$$Y = 4m\omega^2 r \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \cdot \cos(\omega t - \frac{\gamma}{2})$$

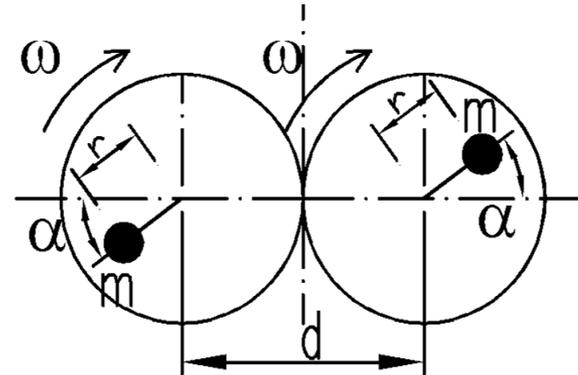
$$X = 4m\omega^2 r \cdot \cos \frac{\gamma}{2} \cdot \cos(\omega t - \frac{\gamma}{2})$$





Механические вибрационные машины

Направленного действия. Гармонический изгибающий момент.

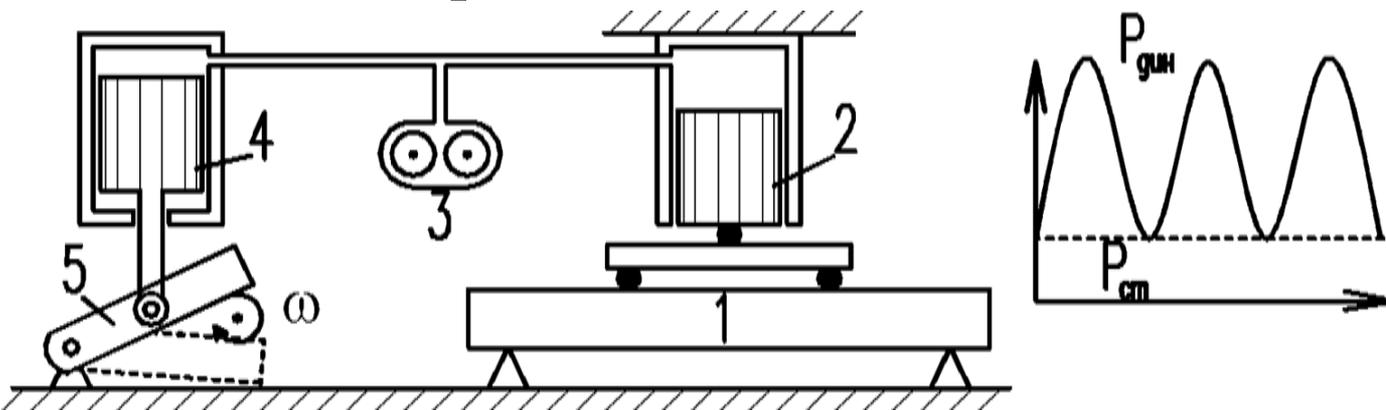


$$M = m\omega^2 r \cdot d \cdot \sin \omega t$$



Гидравлические испытательные машины (гидропульсаторы)

Система с однопоршневым бесклапанным насосом



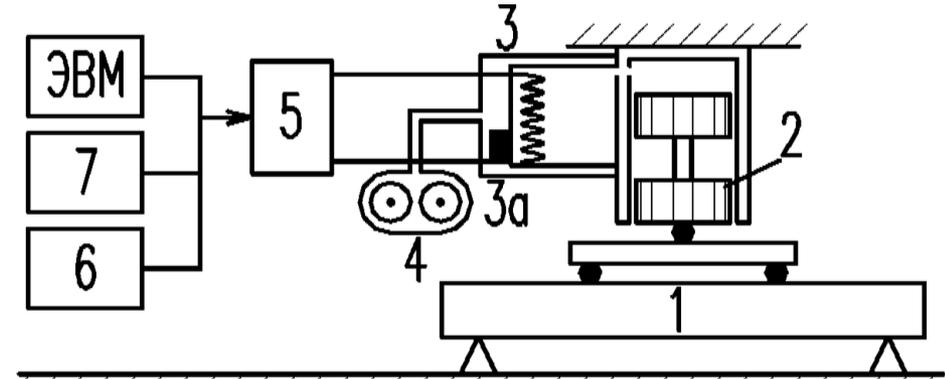
1. Испытываемая конструкция
2. Поршень пульсатора
3. Маслонасос
4. Задающий цилиндр
5. Кривошипно-шатунный механизм

Данный тип пульсатора создает только гармонические колебания. Имеется возможность регулировки амплитуды и частоты колебаний и возможность задания статической нагрузки.



Электрогидравлические системы

1. Испытываемая конструкция
2. Рабочий цилиндр пульсатора
3. Система электрогидроклапанов
4. Маслонасос
5. Электронный блок управления
6. Генератор случайных колебаний
7. Магнитограф



$$a_0 = c \cdot I(t)$$

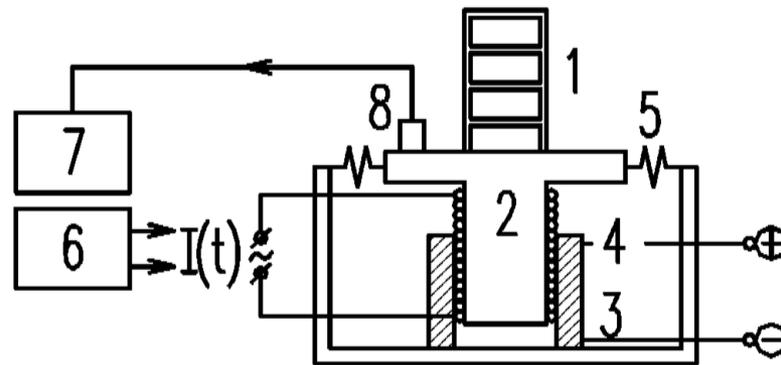
$I(t)$ – сила тока
 a_0 – ускорение

Данный тип пульсатора универсален: имеется возможность создания любой нагрузки, в том числе с заданными статистическими характеристиками.

Имеется возможность воспроизведения любых натуральных условий нагружения.



Электродинамические стенды



1. Модель сооружения, установленная на вибростоле
2. Основание вибростола (сердечник мощного электромагнита)
- 3 и 4. Электромагнитная система
5. Демпфирующие пружины
- 6 и 7. Электронный блок управления с усилителем
8. Вибродатчик, осуществляющий контроль и управление требуемым режимом нагружения

$$P(t) = B \cdot L \cdot I(t)$$

$P(t)$ – сила выталкивания

$I(t)$ – сила тока

L – длина проводника



Методы и средства регистрации динамических параметров при проведении испытаний

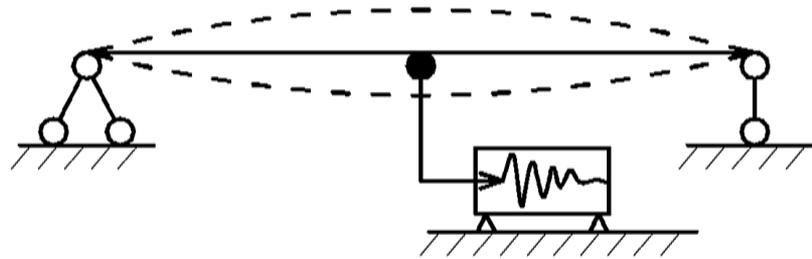
Основные регистрируемые параметры:

- Динамические перемещения (амплитуды)
- Динамические деформации
- Динамические усилия (давления)
- Динамические напряжения
- Частоты колебаний
- Скорости и ускорения
- Углы сдвига фаз

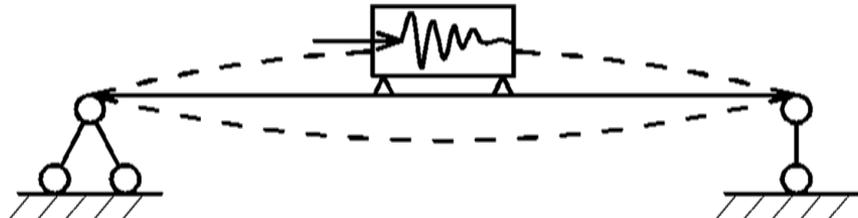


Принципы регистрации динамических параметров:

Кинематический (неподвижная опора)



Динамический (создание на конструкции искусственной неподвижной точки)

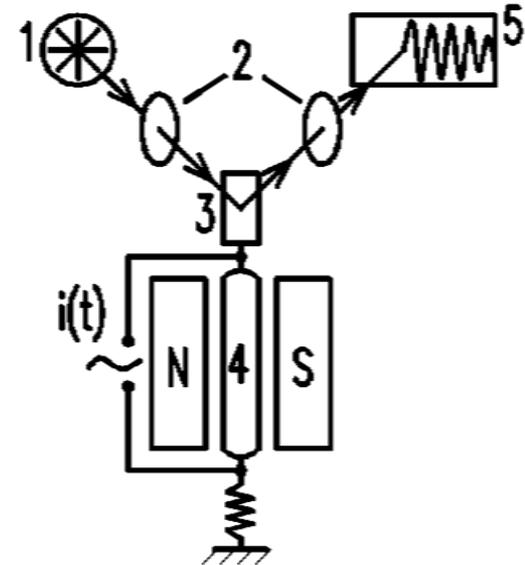




Светолучевой осциллограф

1. Лампа
2. Линза
3. Зеркальце
4. Рамка
5. Лента из УФ бумаги

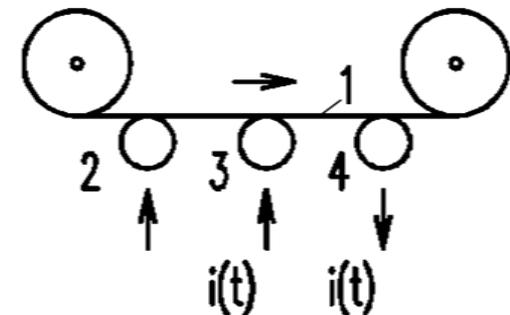
$$\nu = 0-800\text{Гц}$$



Магнитографы

1. Магнитная лента
2. Стирающая головка
3. Записывающая головка
4. Воспроизводящая головка

$$\nu = 0-5000\text{Гц}$$

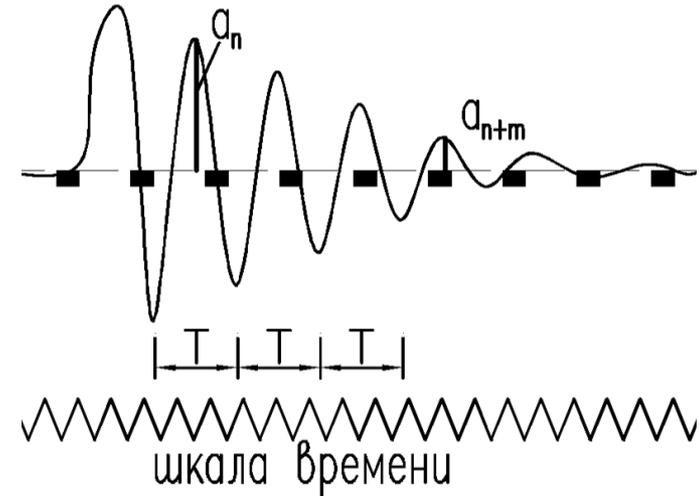




Обработка записей колебаний

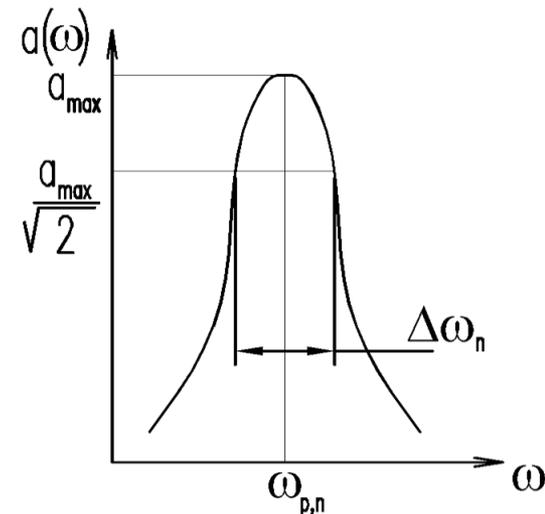
Обработка виброграмм затухающих колебаний

$$\delta = \frac{1}{m} \ln \frac{a_n}{a_{n+m}}$$



Определение логарифмического декремента затухания по резонансной кривой

$$\delta = \pi \frac{\Delta\omega_n}{\omega_{p,n}}$$

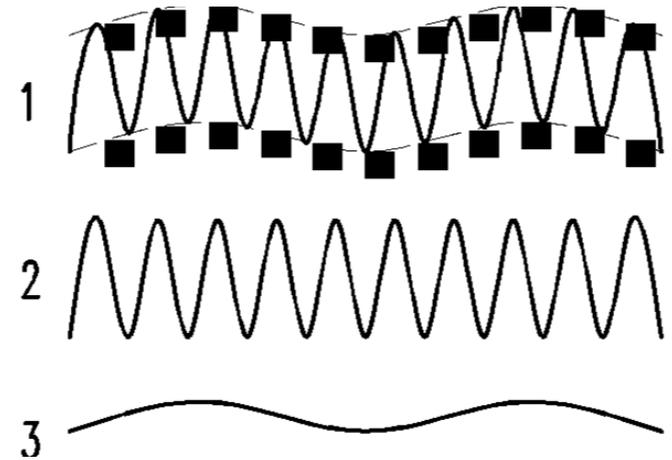




Обработка периодических колебаний в виде суммы нескольких гармонических

Определение амплитуд и частот компонентов методом огибающих

1. Запись двух компонентного колебания
2. Двойная амплитуда высокочастотной составляющей
3. Сумма низкочастотных компонентов



Максимальная ширина полосы огибающих равна
сумме двойных амплитуд компонентов, а
минимальная ширина – их разности.

Анализ виброграммы биений

Частота биений равна разности частот

КОМПОНЕНТОВ





Определение коэффициента динамичности при колебаниях

$$K_d = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega_B^2}{\omega_0^2}\right)^2 + \gamma \frac{\omega_B^2}{\omega_0^2}}}$$

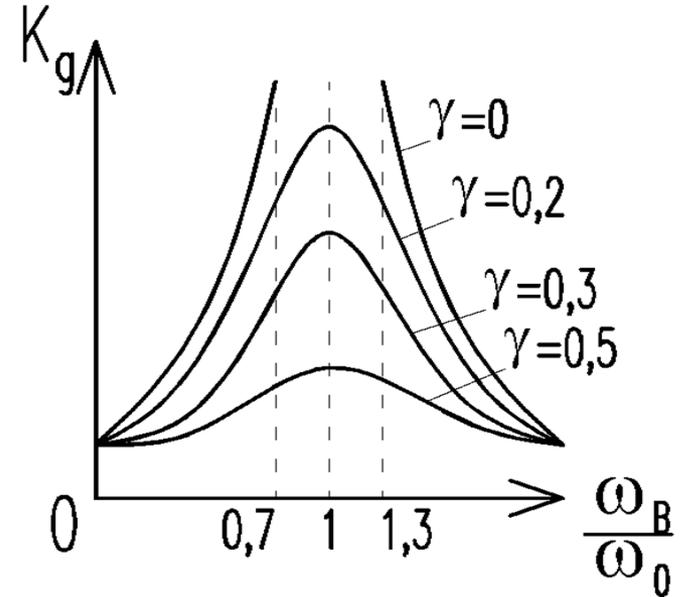
γ – сопротивление

$$K_d = \frac{1}{1 - \frac{\omega_B^2}{\omega_0^2}}$$

при $\gamma = 0$

$$K_d = \frac{A_d}{A_{cm}}$$

$$\sigma_{дин} = \sigma_{ст} \cdot K_d$$



Определение коэффициента динамичности при вертикальном ударе

$$K_d = \frac{y_{дин}}{y_{ст}}$$

