

## Список литературы

1. Баркан Д.Д. «Динамика оснований и фундаментов». М., Стройвоенмориздат, 1948.

2. Савинов О.А. «Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет».

*Издание 1 – М., СИ, 1959.*

*Издание 2 – М., СИ, 1964.*

*Издание 3 – Ленинград,  
СИ, 1979.*

*3. Красников Н.Д. «Динамические свойства грунтов и методы их определения». Ленинград, СИ, 1970.*

*4. СП 26.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 2.02.05-87. Фундаменты машин с динамическими нагрузками». М., Изд-во стандартов, 2012.*

*5. Руководство по проектированию фундаментов машин с динамическими нагрузками. М., СИ, 1982.*

**Колебания тела (фундамента) –**

**повторяющиеся изменения его положения относительно нулевой точки (положения равновесия).**

**Амплитуда колебаний фундамента (тела) –**

**максимальное его отклонение от нулевой точки (положения равновесия), мм (мкм).**

**Частота колибаний фундамента (тела) –**

***количество циклов колибаний за единицу времени, 1/сек, Гц.***

*Источник колебаний фундамента (тела) –*

*машина, оборудование или иной объект, создающий силовое переменное воздействие, расположенный непосредственно на фундаменте или на удалении от него.*

## *Предельно допустимые колебания –*

*предельные амплитуда, скорость или ускорение вибрации (колебаний), определяемые нормами и зависящая от чувствительности к виброперемещениям машин, конструкций, людей.*

**Классификация машин**  
**с динамическими нагрузками**



## *1. Машины периодического действия:*

### *а) равномерное вращение*

*(электродвигатели, моторгенераторы, турбоагрегаты, турбокомпрессоры и т.д.);*

***б) равномерное вращение и связанное с ним возвратно-поступательное движение***

***(машины с кривошипношатунными механизмами, компрессоры, насосы, лесопильные рамы, двигатели внутреннего сгорания);***

*в) возвратно-поступательное движение, завершающееся непрерывно следующими один за другим ударами*

*(встряхивающие и вибрационно-ударные формовочные машины, применяемые в литейном производстве и в производстве сборных железобетонных конструкций).*

## *2. Машины непериодического действия:*

*а) неравномерное вращение или возвратно - поступательное движение*

*(приводные электродвигатели  
прокатных станков, генераторы  
разрывных мощностей и т.д.);*

*б) возвратно - поступательное движение, завершающееся ударами*

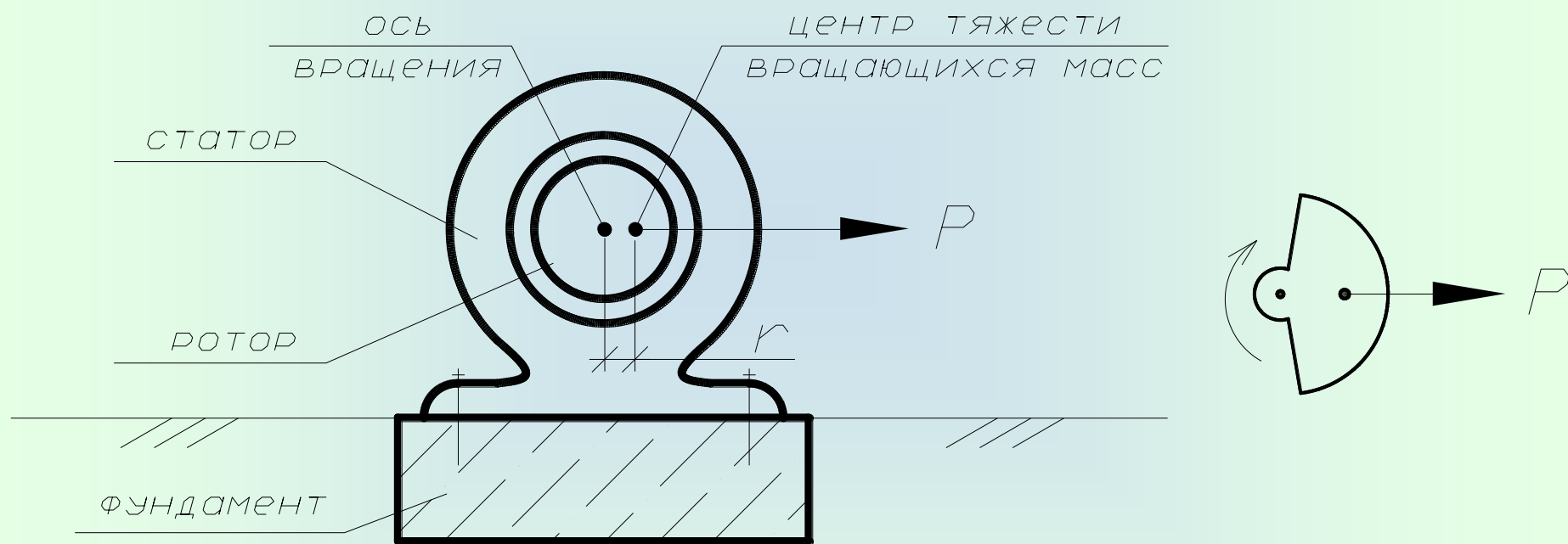
*(ковочные и штамповочные молоты, копровые устройства для разделки металлического скрепа);*

*в) движения, вызывающие перемещения масс обрабатываемого материала (случайные нагрузки)*

*(дробилки, мельничные установки).*

**Определение**  
**динамических нагрузок**  
**от машин**

# 1. Машины с равномерным или неравномерным вращением





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

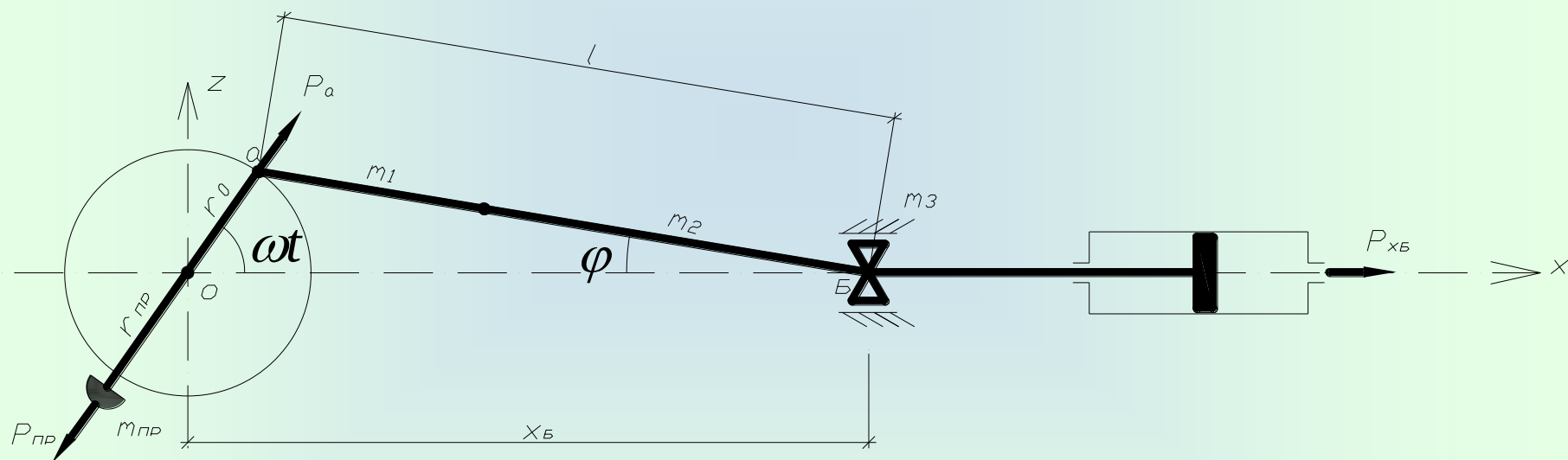
$$m = \frac{Q}{g},$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = 0,105 \cdot n \quad \text{или} \quad \omega = \frac{2 \cdot \pi}{T},$$

где  $P$  – центробежная сила инерции;  
 $m$  – масса вращающейся части машины;  
 $Q$  – вес вращающейся части машины;  
 $n$  – число оборотов в минуту;  
 $T$  – период колебаний;  
 $\omega$  – угловая скорость, 1/сек.

## 2. Машины с кривошипно-шатунными механизмами

(компрессоры, лесопильные рамы и др.)



**$m_1$  — масса кривошипа и шейки вала;**

**$m_2$  — масса шатуна;**

**$m_3$  — масса крестковфа, штока и поршня;**

**$m_{np}$  — масса противовеса.**

***Массы сосредоточены в точках «а» и «б»:***

***в точке «а» –***

$$m_a = m_1 + \frac{2}{3} \cdot m_2;$$

***в точке «б» –***

$$m_b = m_3 + \frac{1}{3} \cdot m_2;$$

## *Силы инерции:*

*а) от противовеса –*

$$P_{np} = m_{np} \cdot r_{np} \cdot \omega^2;$$

*б) от кривошипа и части шатуна –*

$$P_a = m_a \cdot r_a \cdot \omega^2;$$

*в) от части шатуна, крестковфа,  
штока и поршня –*

$$P_{x\bar{o}} = m_{\bar{o}} \cdot \omega^2 \cdot x_{\bar{o}}^{//},$$

*где*

$$x_{\bar{o}} = r_0 \cdot \cos(\omega t) + l \cdot \cos(\varphi).$$

$$x_{\bar{\sigma}}'' = r_0 \cdot (\cos(\omega t) + \lambda_0 \cdot \cos(2\omega t)),$$

*зде*

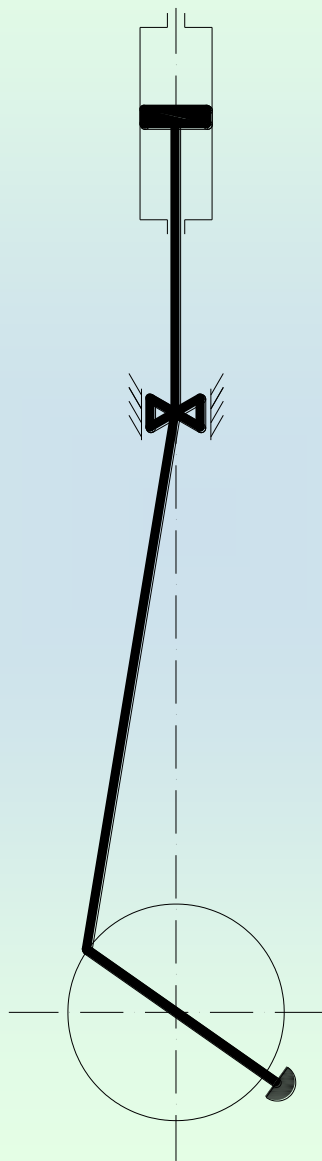
$$\lambda_0 = \frac{r_0}{l},$$

*могда*

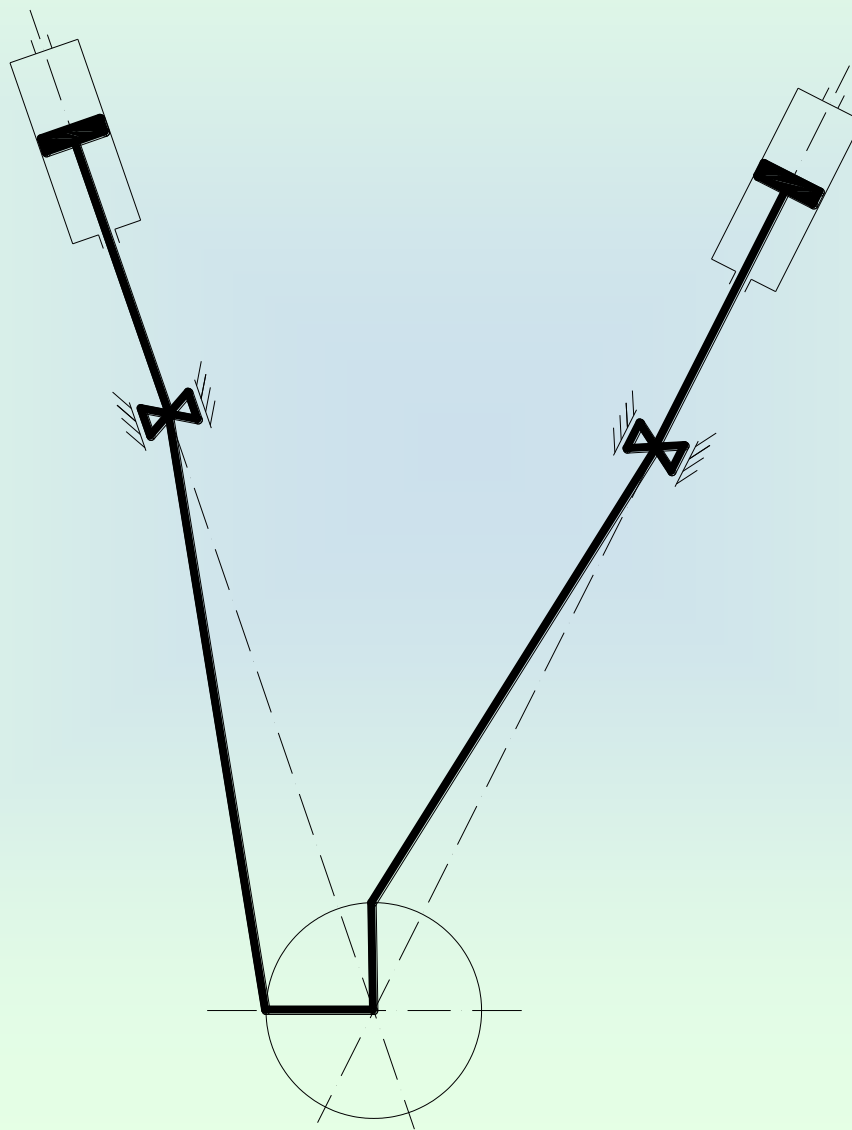
$$P_{x_{\bar{\sigma}}} = m_{\bar{\sigma}} \cdot \omega^2 \cdot r_0 \cdot (\cos(\omega t) + \lambda_0 \cdot \cos(2\omega t)).$$



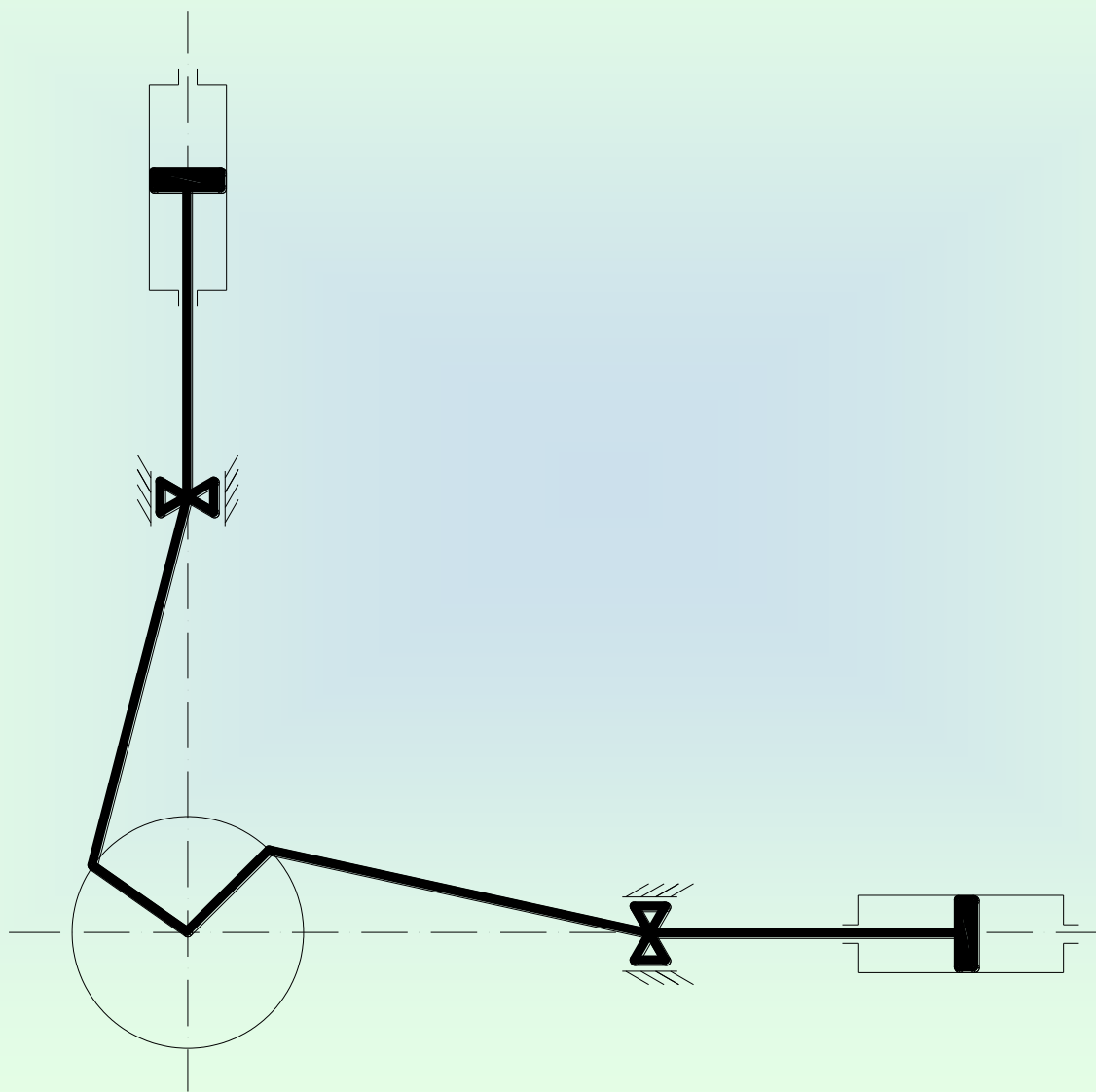
## *Вертикальное расположение механизмов*



## *V-образное расположение механизмов*



## *Г-образное расположение механизмов*



### *3. Импульсные нагрузки от машин ударного действия (кузнечные молоты, копры, формовочные машины)*

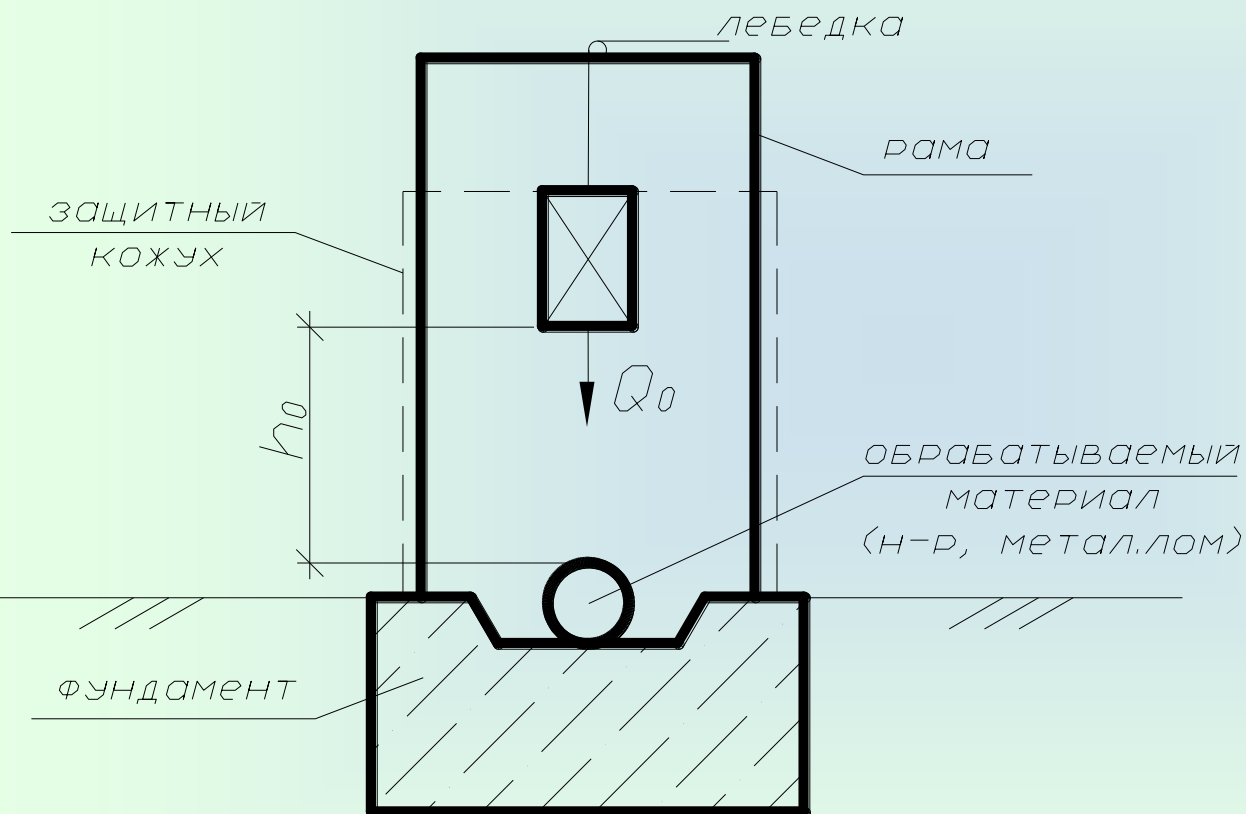
$$I = m_0 \cdot v_0 = \frac{Q_0}{g} \cdot v_0,$$

*где  $v_0$  – скорость падения ударной части;*

*$m_0, Q_0$  – масса и вес ударной части, соответственно;*

*$g$  – ускорение свободного падения.*

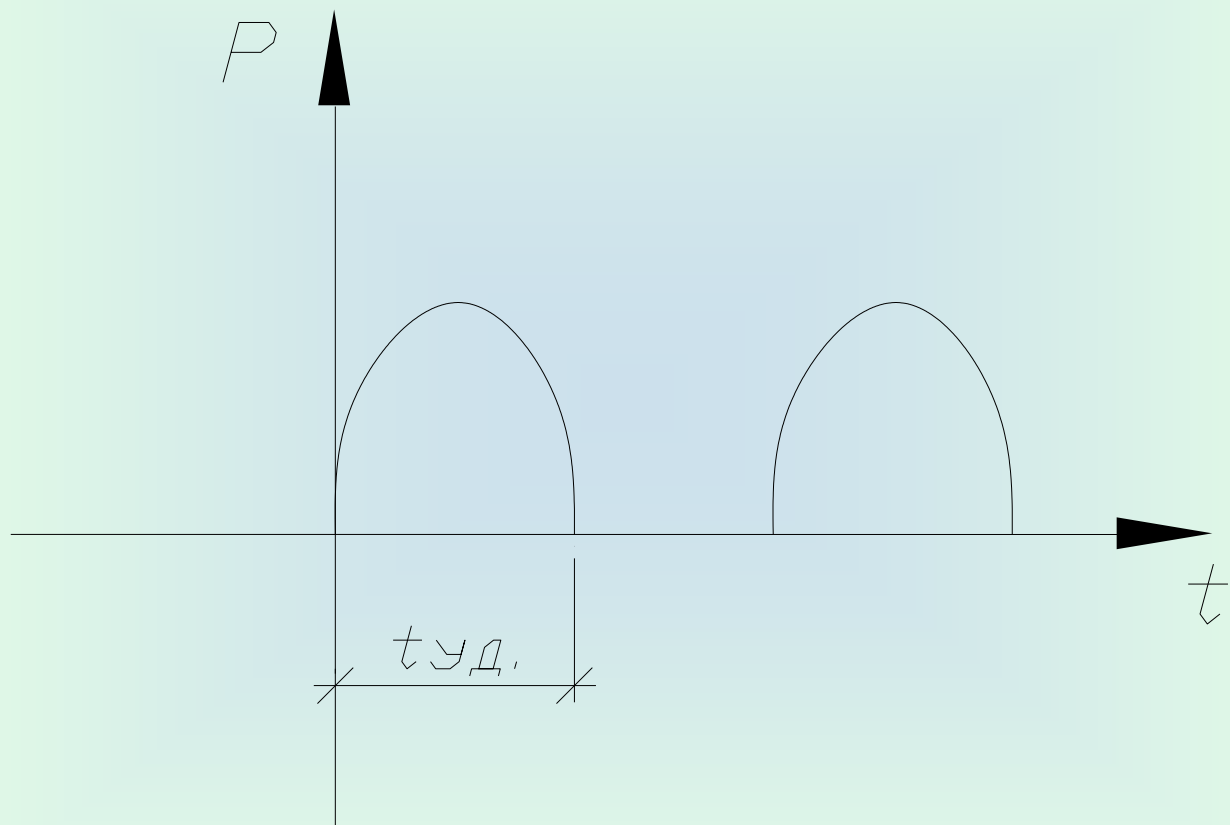
***а) для копров***



$$v_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_0},$$

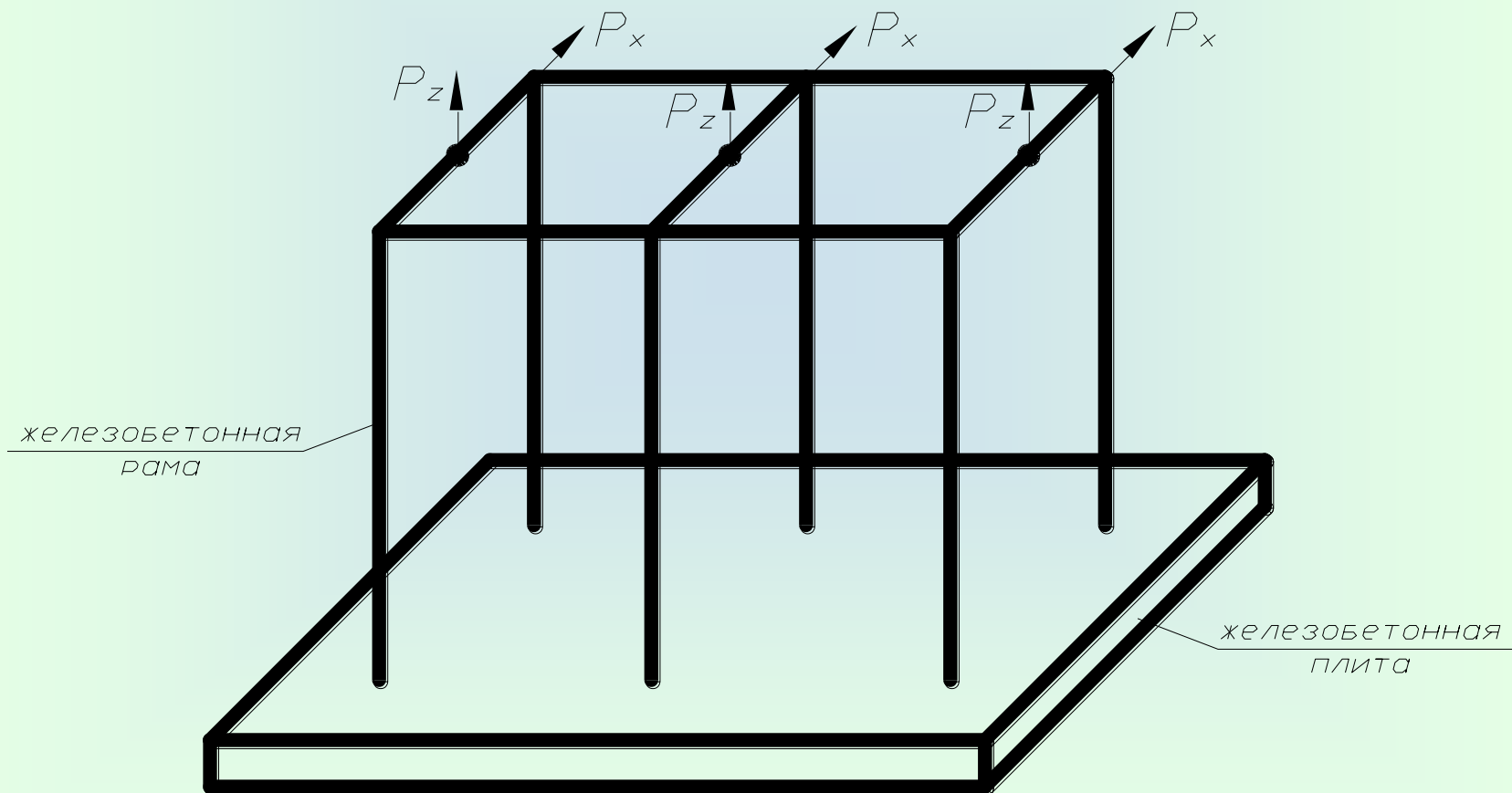
$$Q_0 \leq 60 \div 100 \text{ т},$$

$$h_0 \leq 7 \div 8 \text{ м}$$

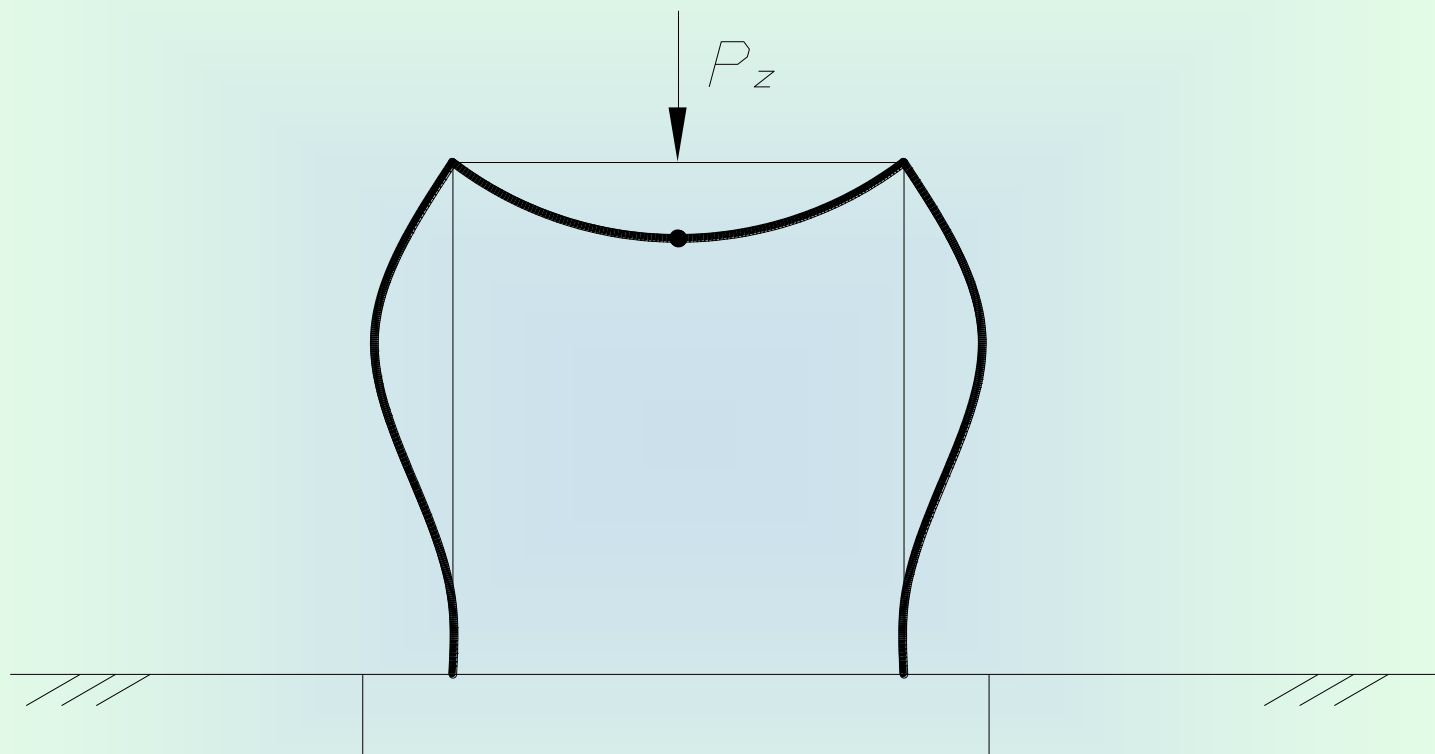


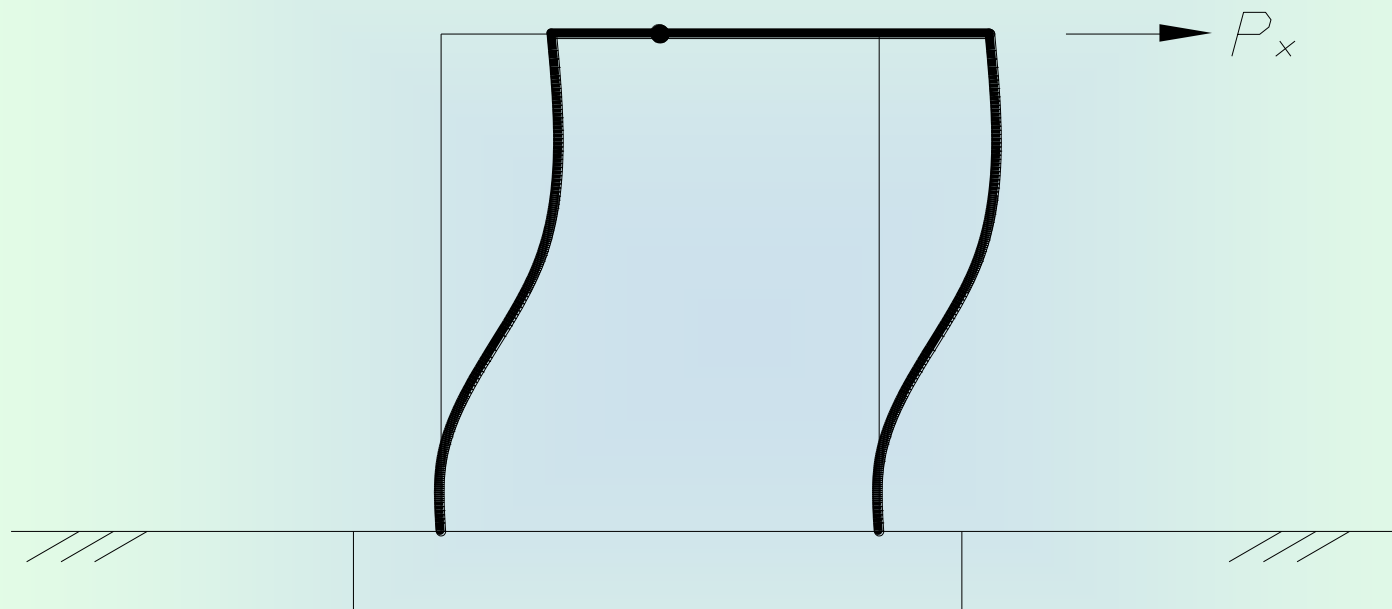
**Конструкции  
фундаментов  
под машины**

# *1. Рамные фундаменты (под турбоагрегаты)*



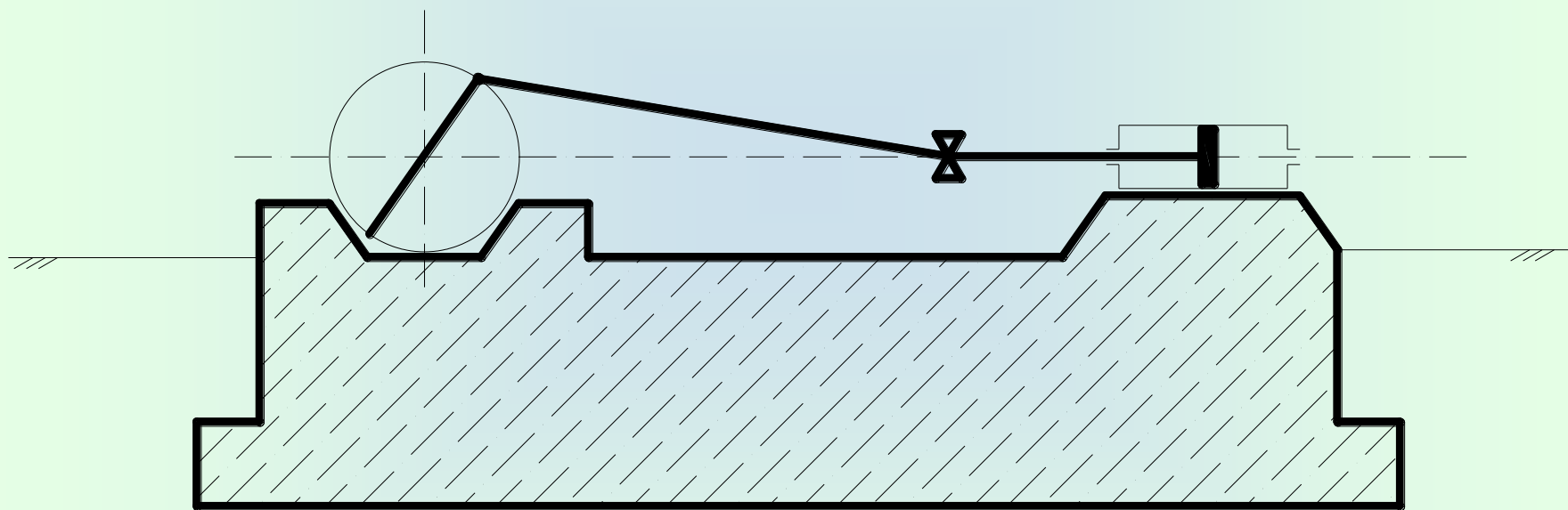




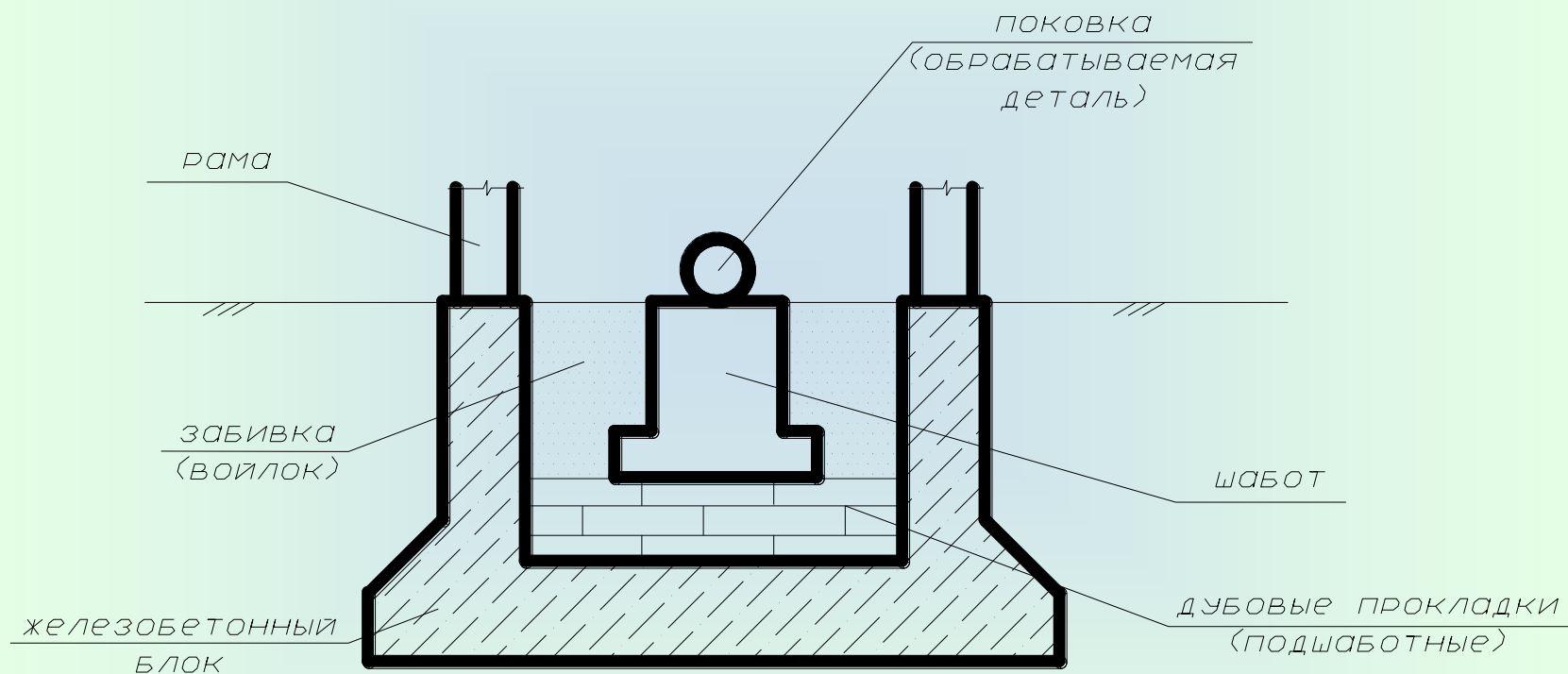


## *2. Массивные фундаменты:*

### *а) под компрессоры*

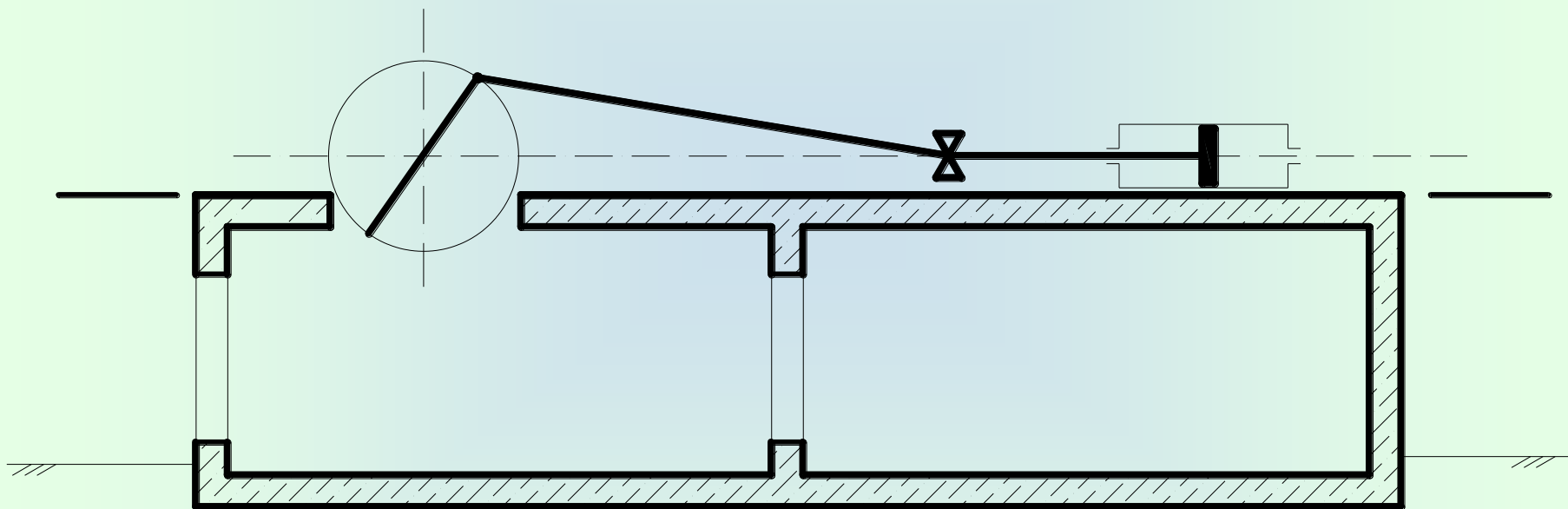


## ***б) под ковочный молот***

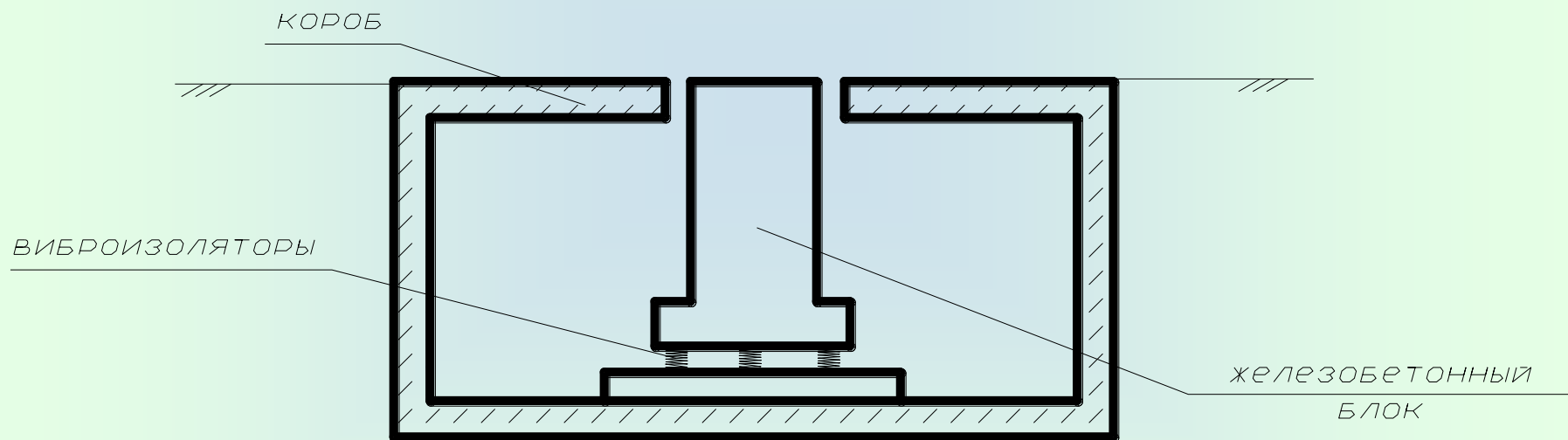


### *3. Стеновые фундаменты:*

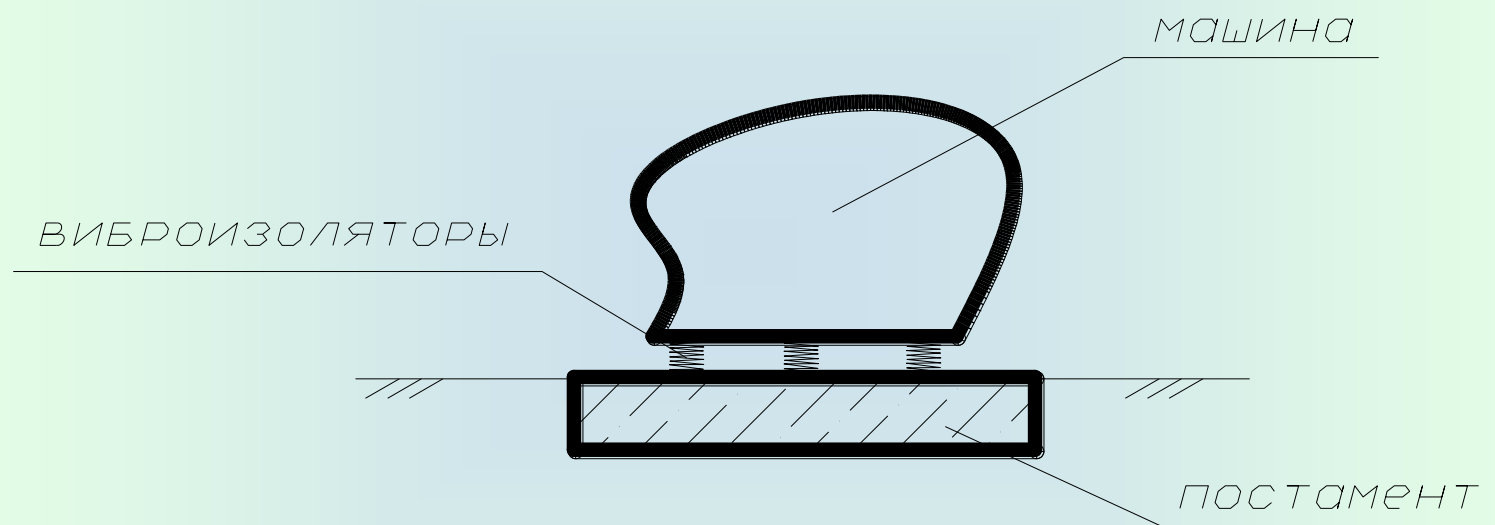
#### *а) под компрессоры*



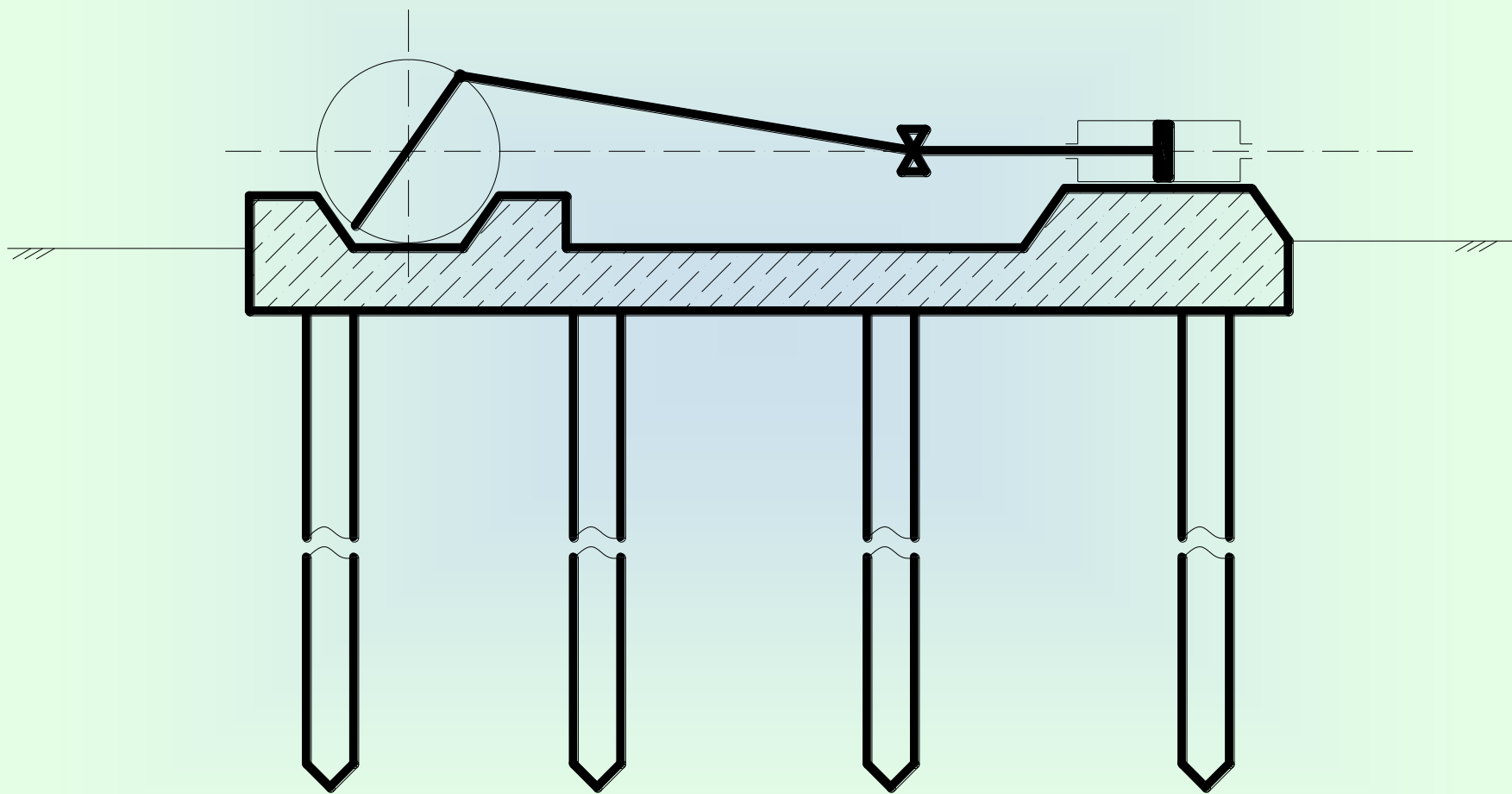
***б) под ковочный молот (коробчатые фундаменты)***



## 4. *Фундамент – постамент*



## 5. Свайные фундаменты





**Принципы  
расчета  
фундаментов  
под машины**

*(в соответствии с СП 26.13330.2012.*

*Актуализированная версия СНиП 2.02.05-87*

*«Фундаменты с динамическими нагрузками»)*

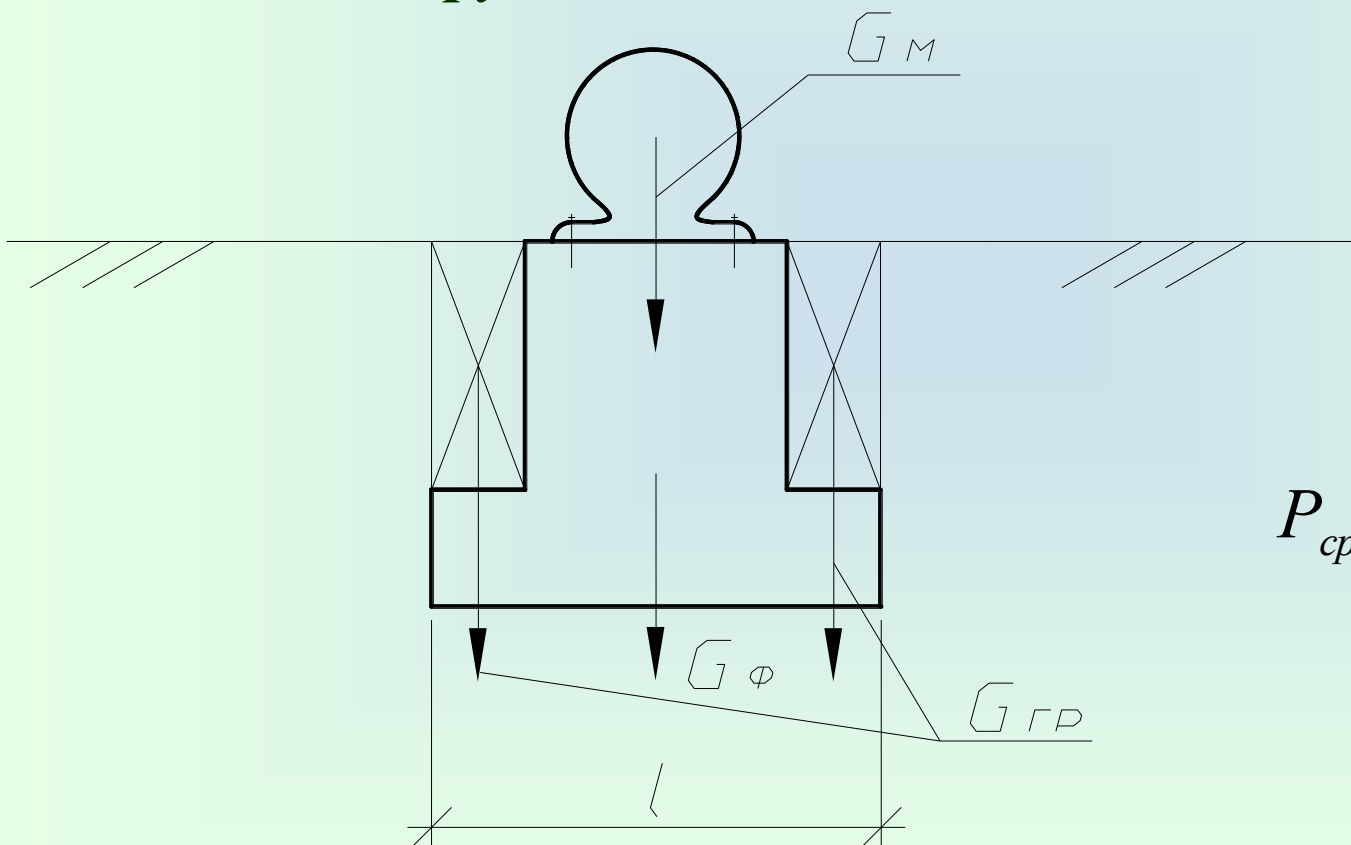
$$1) P_{cp} \leq \gamma_{c0} \cdot \gamma_{c1} \cdot R,$$

*где  $\gamma_{c0}$  – коэффициент условия работы, учитывающий характер динамических нагрузок и ответственность машин*

*( $\gamma_{c0} = 0,5$  – для молотов, формовочных машин,  $\gamma_{c0} = 0,8$  – для дробилок, мельниц, компрессоров);*

*$\gamma_{c1}$  – коэффициент условия работы грунтового основания ( $\gamma_{c1} = 1,0$  или  $\gamma_{c1} = 0,7$ );*

$P_{cp}$  – среднее давление под подошвой фундамента на основание от расчетных статических нагрузок;



$$P_{cp} = \frac{G_M + G_\phi + G_{gp}}{b \cdot l}$$

***R*** – расчетное сопротивление основания.

$$R_{\text{усл}} = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} \cdot \left[ M_{\gamma} \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{\text{II}} + M_q \cdot d \cdot \gamma'_{\text{II}} + (M_q - 1) \cdot d_b \cdot \gamma'_{\text{II}} + M_c \cdot c_{\text{II}} \right]$$

$$2) \ a \leq a_u,$$

*где  $a$  — наибольшая амплитуда колебаний фунда-  
мента, определяется расчетом;*

*например,*

*для машин с импульсной нагрузкой (молоты и т.п.):  
(без учета затухания колебаний)*

$$a_z = \frac{(1 + \varepsilon) \cdot I}{m \cdot \lambda_z},$$

*$a_z$  — наибольшая амплитуда колебаний фунда-  
мента при импульсной нагрузке;*

$I$  – импульс силы ( $I = m_0 \cdot v$ );

$m$  – масса системы;

$\lambda_z$  – частота свободных колебаний (собственных);

$\varepsilon$  – коэффициент восстановления удара.

$a_u$  – максимально допустимая амплитуда колебаний фундамента, принимается по СНиП 2.02.05-87 (зависит от вида машины и частоты колебаний) или по тех.паспорту машины.

**Модели  
фундаментов и оснований,  
используемые при расчете на колебания**

# *1. Модель Павлюка – Рауша*

*(типа Винклера – Фойгта)*

## *Свойства модели:*

*– инерционность грунта не учитывается (в действительности часть грунта колеблется с фундаментом);*

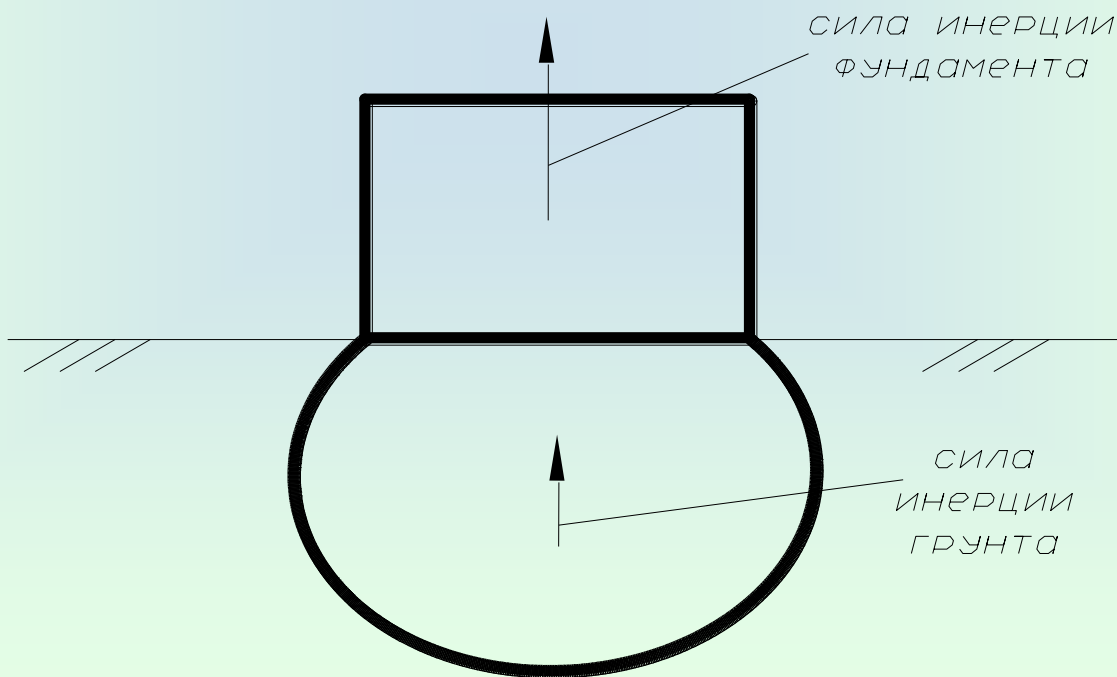
*– связь между реакциями грунта и перемещениями фундамента считается линейной;*



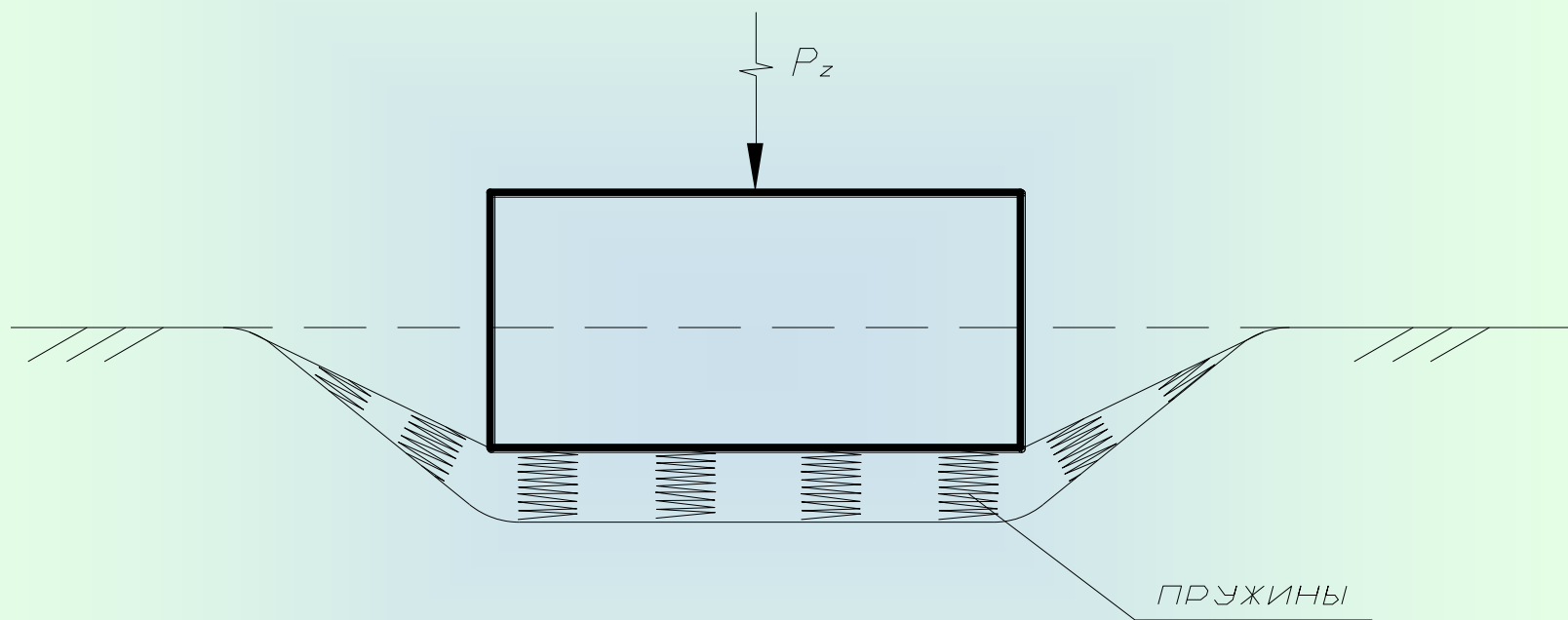
## 2. Модель Филоненко - Бородича

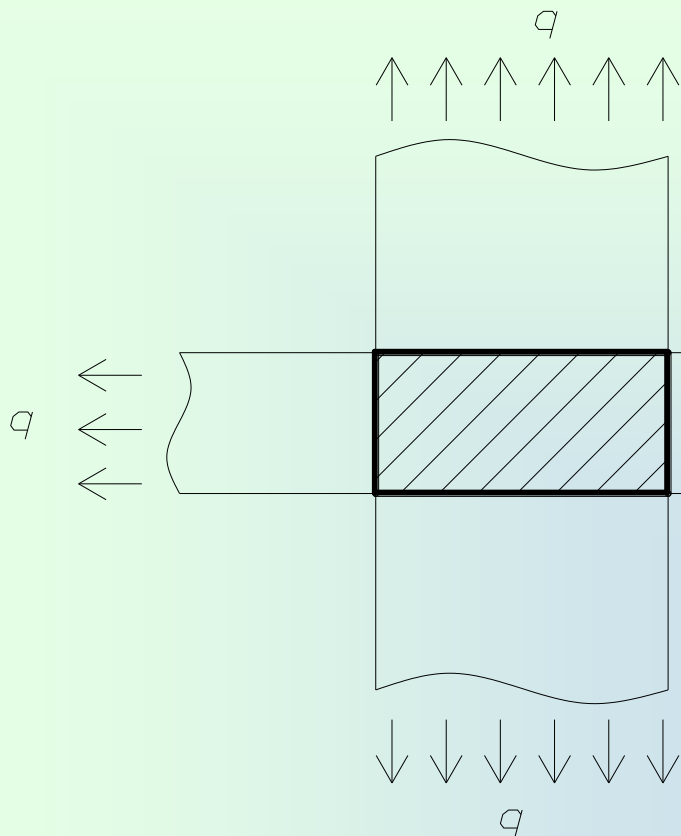
### Свойства модели:

– жесткость пружин, моделирующих грунт, определяется с учетом инерционности грунта;



*– модель основания принята в виде Винклеровской, на которую дополнительно наложена мембрана, вовлекающая в работу грунт, находящийся за контурами подошвы фундамента.*





$$\Delta = \sqrt{\frac{c}{q}},$$

где  $\Delta$  – обобщенный параметр жесткости,  $\text{см}^{-1}$ ;

$c$  – удельная жесткость мембраны,  $\text{кН/м}^3$ ;

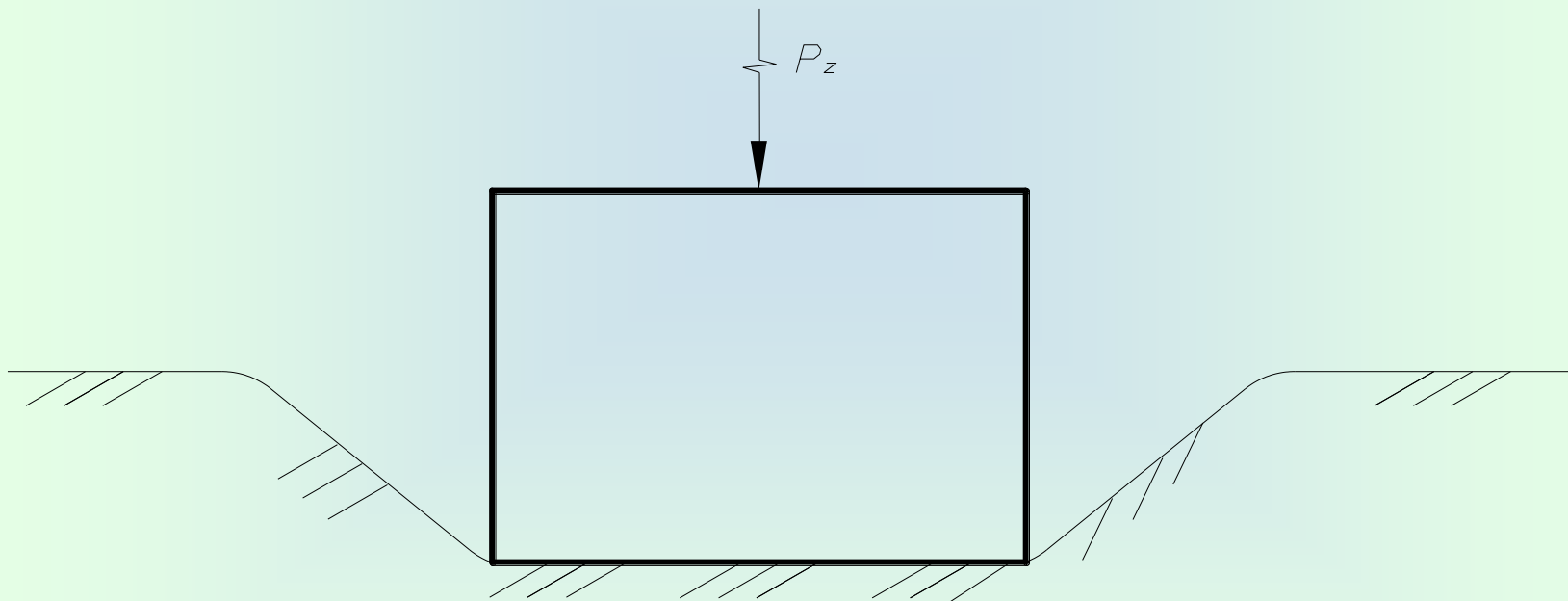
$q$  – сила натяжения мембраны,  $\text{кН/м}$ ;

### ***3. Модель упругого полупространства***

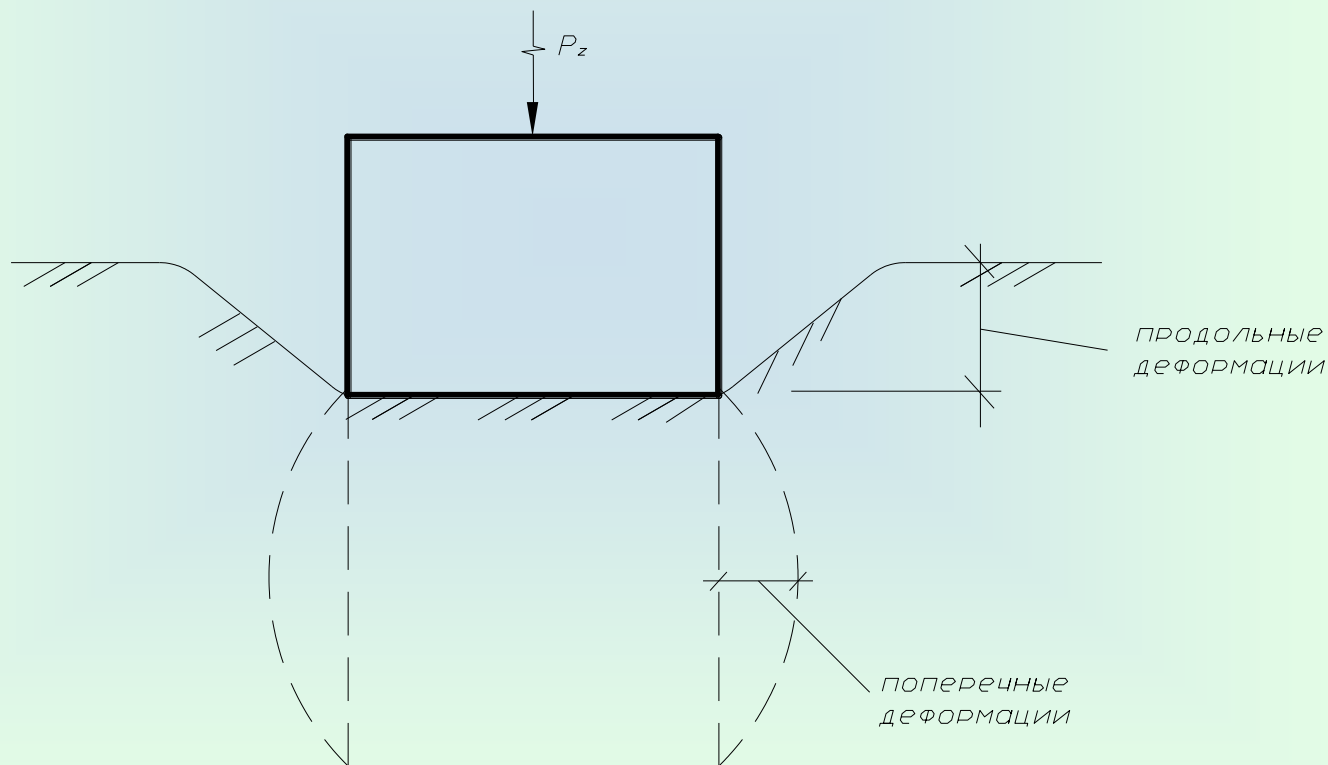
#### ***Свойства модели:***

***– деформации вполне упруги, линейно связаны с напряжениями и полностью исчезают после снятия динамической нагрузки;***

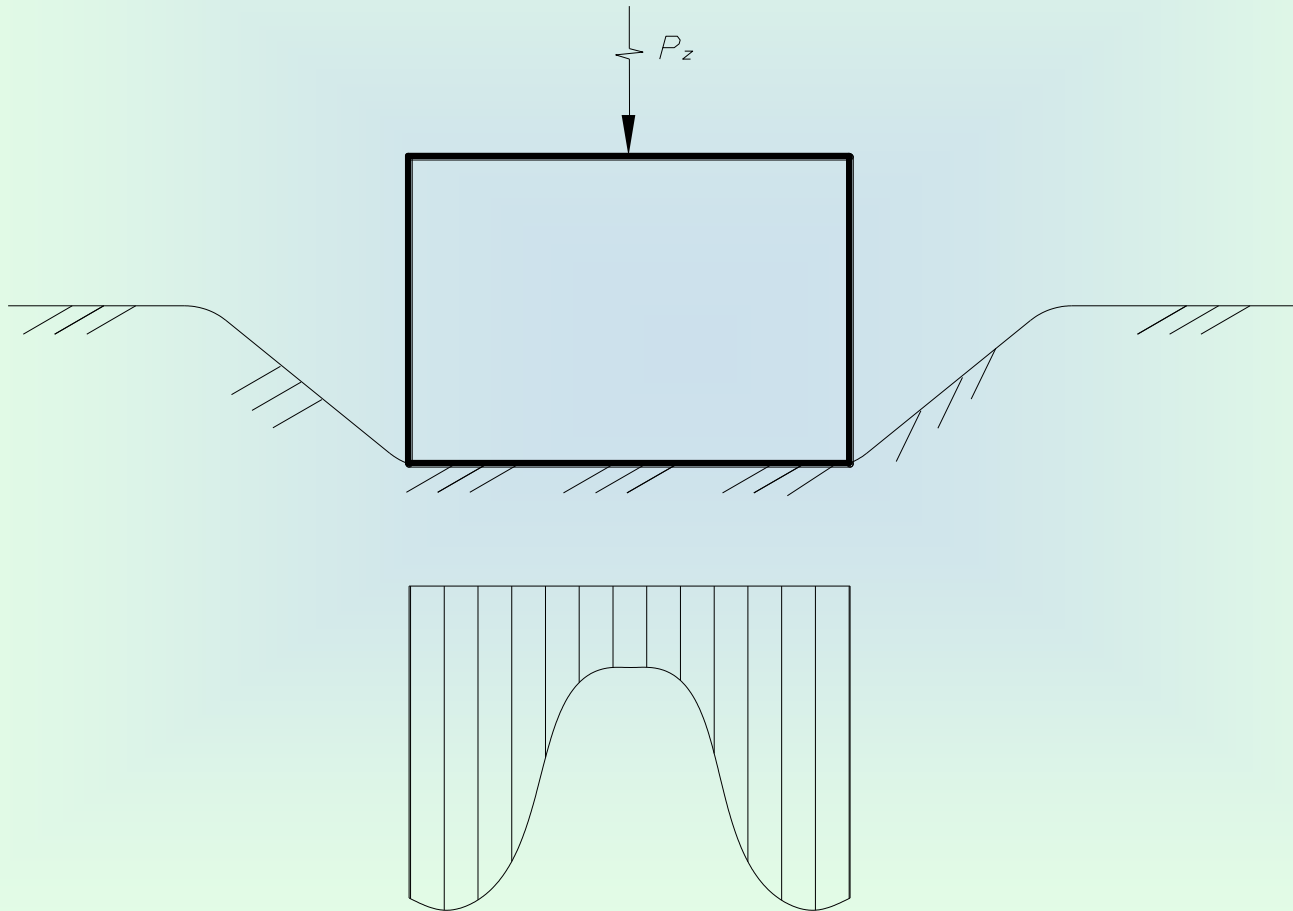
*– материал основания однородный, сплошной, в нем невозможны деформации разрывного характера;*



*– продольные деформации в основании сопровождаются поперечными, определяемые коэффициент Пуассона;*



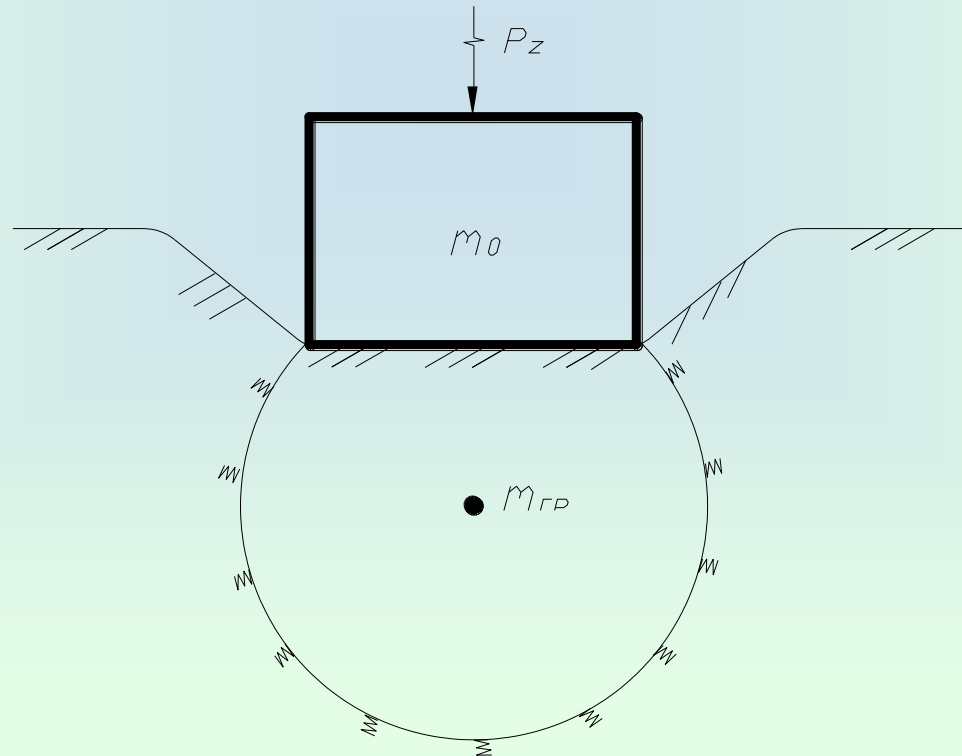
*– напряжения под подошвой фундамента распределяются по седлообразному закону.*





#### 4. Модель с «присоединенной массой»

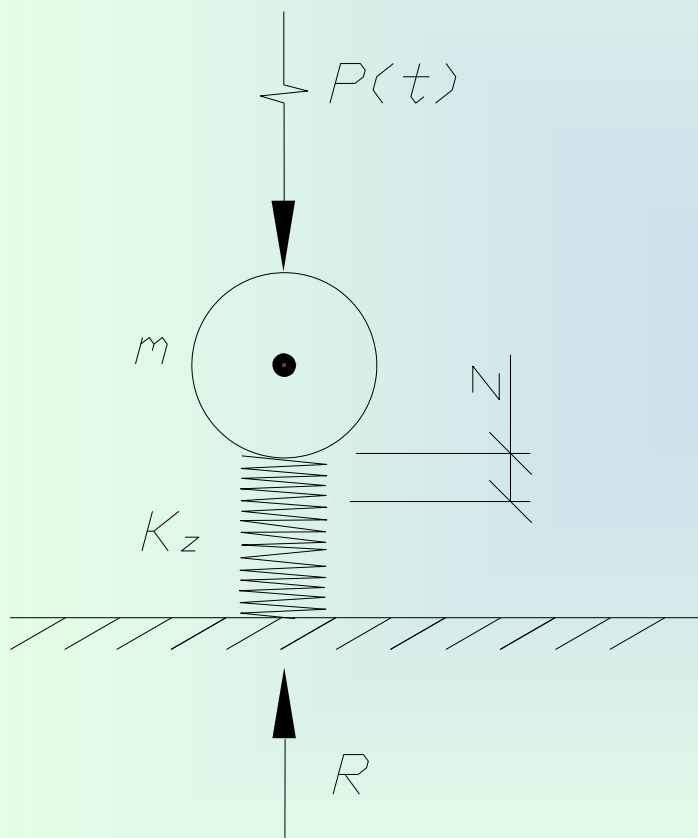
В массу системы вводится масса грунта («присоединенная масса») –  $m_{гр}$



**Вывод и решение  
дифференциального уравнения  
вертикальных колебаний  
фундамента**

*1) при произвольно изменяющейся нагрузке  $P(t)$*

*(без учета затуханий)*



*при  $z > 0$  получим*

$$R = m \cdot g + K_z \cdot z$$

*Для составления уравнения движения используется принцип Даламбера:*

*«Уравнение движения может быть получено как уравнение движения в статике, если к внешним силам, действующим на систему, добавить силу инерции с обратным знаком по отношению направления движения».*

$$Q + P(t) - m \cdot z'' = R,$$

$$-m \cdot z'' + Q + P(t) - R = 0,$$

$$m \cdot \kappa \quad R = m \cdot g + K_z \cdot z \quad \Rightarrow$$

$$-m \cdot z'' + \underline{Q} + P(t) - \underline{m \cdot g} - K_z \cdot z = 0, \rightarrow$$

$$m \cdot z'' + K_z \cdot z = P(t),$$

$$z'' + \underbrace{\frac{K_z}{m}}_{\lambda_z^2} \cdot z = \frac{P(t)}{m},$$

$$\left( \lambda_z^2 = \frac{K_z}{m} \right) \rightarrow$$

$$z'' + \lambda_z^2 \cdot z = \frac{P(t)}{m}.$$

*2) при нагрузке  $P(t) = 0$*

*(свободные колебания)*

$$z'' + \lambda_z^2 \cdot z = 0$$

*Решение данного уравнения:*

$$z = A \cdot \sin(\lambda_z \cdot t) + B \cdot \cos(\lambda_z \cdot t),$$

*где  $A$  и  $B$  – произвольные коэффициенты (получены из начальных условий).*

$$\text{npu } t = 0, z = 0$$

$$0 = 0 + B \cdot 1 \rightarrow$$

$$B = 0$$

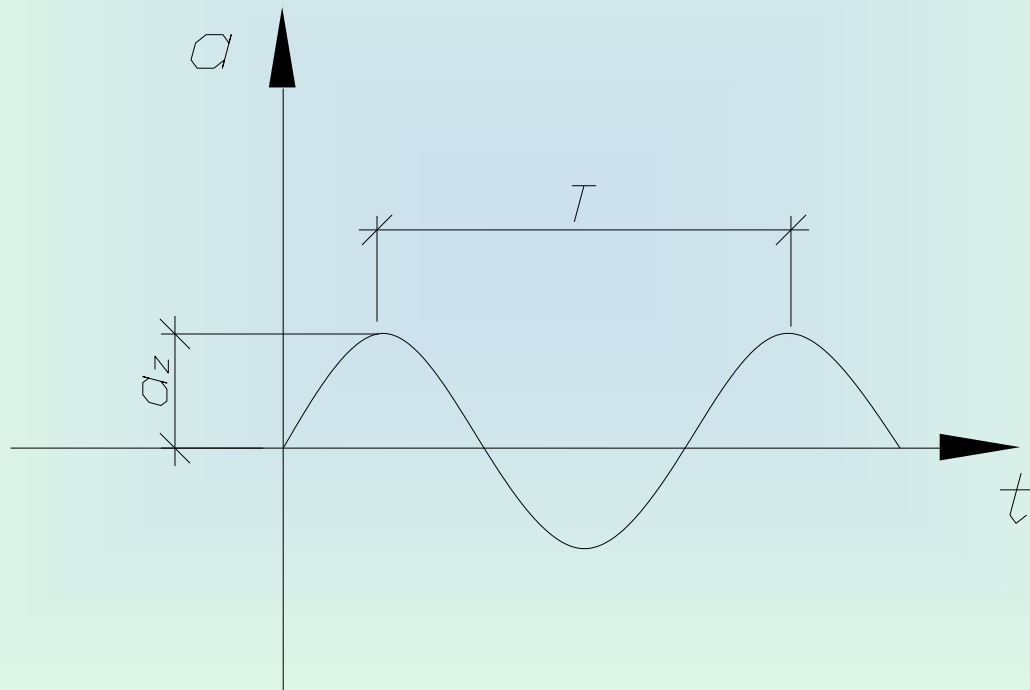
$$\text{npu } t = 0, z' = v_0^\phi$$

$$z' = A \cdot \lambda_z \cos(\lambda_z \cdot t) - B \cdot \lambda_z \cdot \sin(\lambda_z \cdot t) \rightarrow$$

$$A = \frac{z'}{\lambda_z} = \frac{v_0^\phi}{\lambda_z} = a_z,$$



где  $v_0^\Phi$  – скорость перемещения фундамента и машины после удара.



$$v_0^{\phi} = \frac{(1 + \varepsilon) \cdot m_0 \cdot v_0}{m_0 + m} \rightarrow$$

$$a_z = \frac{(1 + \varepsilon) \cdot m_0 \cdot v_0}{(m_0 + m) \cdot \lambda_z},$$

так как  $m_0 \ll m, \rightarrow$

$$a_z = \frac{(1 + \varepsilon) \cdot m_0 \cdot v_0}{m \cdot \lambda_z},$$

*(используется при расчете фундамента под молот)*

где  $m_0$  – масса ударной части;

$m$  – масса фундамента и машины;

$v_0$  – скорость ударной части в момент соударения;

$\varepsilon$  – коэффициент восстановления удара;

$\lambda_z$  – частота свободных (собственных) колебаний.

*3) при нагрузке  $P(t) = P_z \cdot \sin(\omega \cdot t)$  – гармонические колебания*

*здесь  $\omega$  – частота динамического воздействия  
(вынужденных колебаний);*

*$t$  – время (переменная).*

$$z'' + \lambda_z^2 \cdot z = \frac{P_z \cdot \sin(\omega \cdot t)}{m}$$

*Решение данного уравнения:*

$$z = a_z \cdot \sin(\omega \cdot t),$$

$$z' = a_z \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot \omega,$$

$$z'' = -a_z \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \omega^2.$$

$$-a_z \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \omega^2 + \lambda_z^2 \cdot a_z \cdot \sin(\omega \cdot t) = \frac{P_z \cdot \sin(\omega \cdot t)}{m},$$

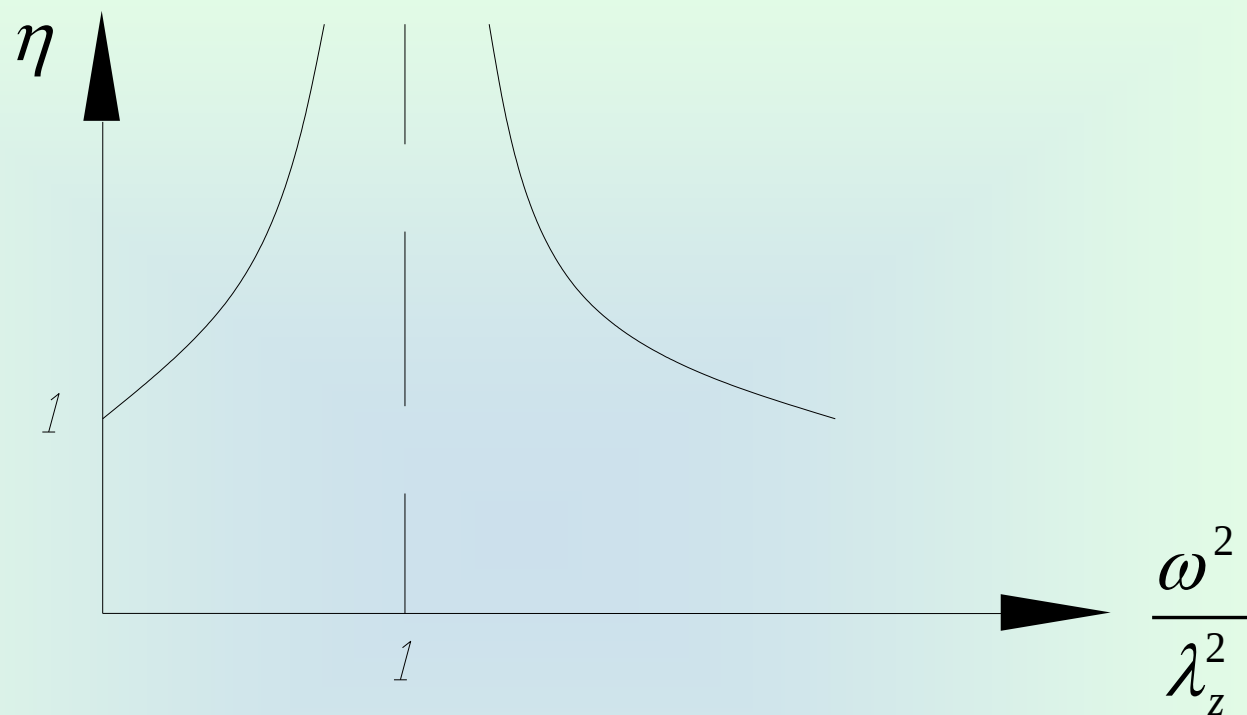
$$a_z \cdot (\lambda_z^2 - \omega^2) = \frac{P_z}{m},$$

$$a_z = \frac{P_z}{m \cdot (\lambda_z^2 - \omega^2)} = \frac{P_z}{m \cdot \lambda_z^2} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\lambda_z^2}\right)} \rightarrow$$

$$\eta = \frac{1}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\lambda_z^2}\right)} \rightarrow$$

$$a_z = \frac{P_z}{K_z} \cdot \eta = a_{cm} \cdot \eta,$$

*где  $\eta$  – коэффициент динамичности системы.*



*при  $\omega = 0$*

*$\eta = 1;$*

*при  $\omega = \lambda_z$*

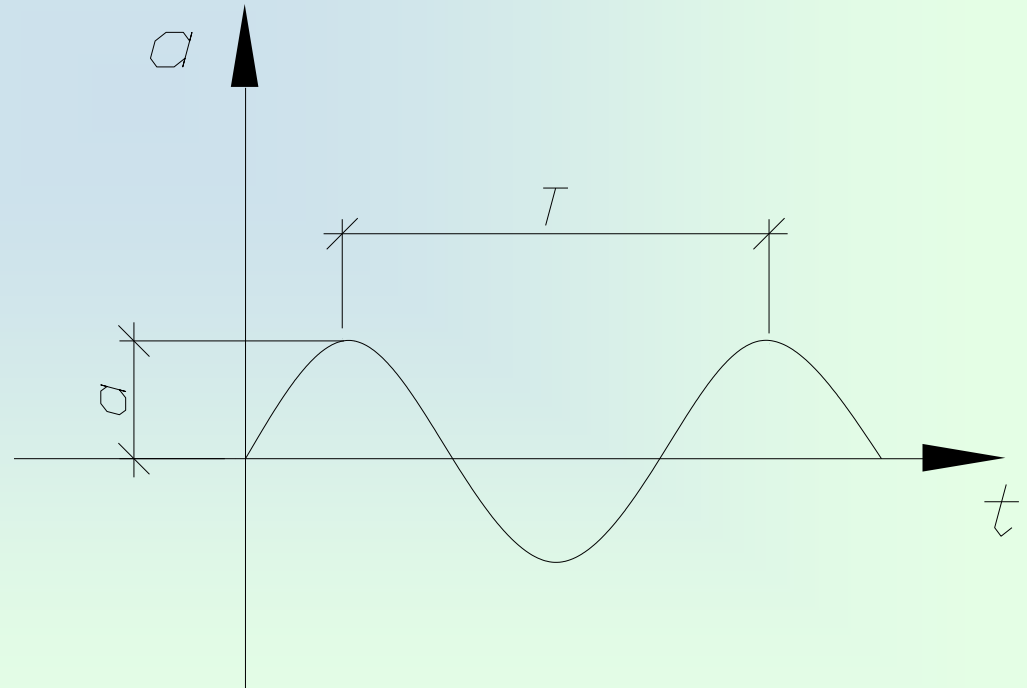
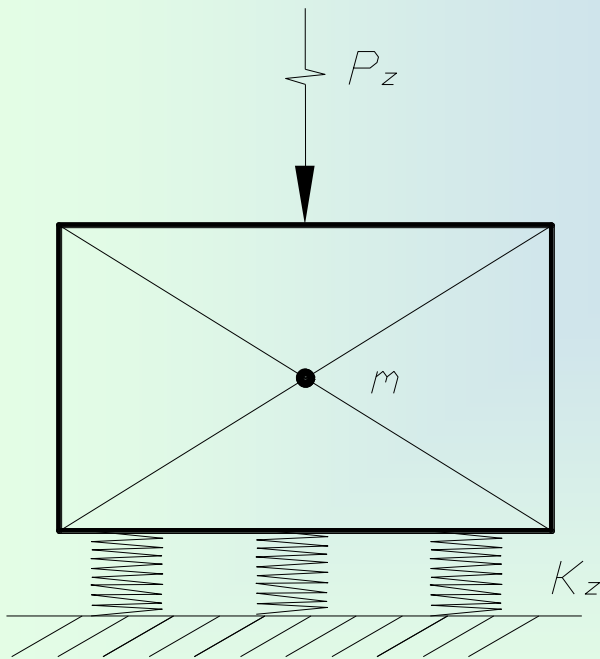
*$\eta = \infty$  (резонанс).*

**Упругие**  
**характеристики грунтов**  
**и методы их определения**



*К динамическим методам относятся:*

*1) вынужденные колебания натуральных фундаментов или их моделей*



$$\left\{ \begin{array}{l} a_z = \frac{P_z}{m \cdot (\lambda_z^2 - \omega^2)}; \\ \lambda_z^2 = \frac{K_z}{m}; \end{array} \right. \rightarrow$$

$$K_z = \frac{P_z}{a_z} + \omega^2 \cdot m;$$

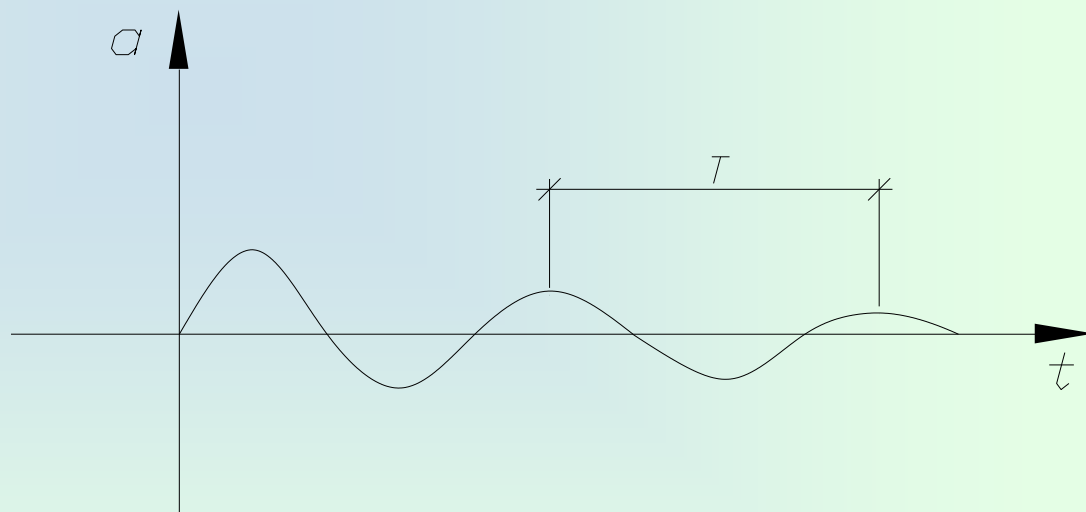
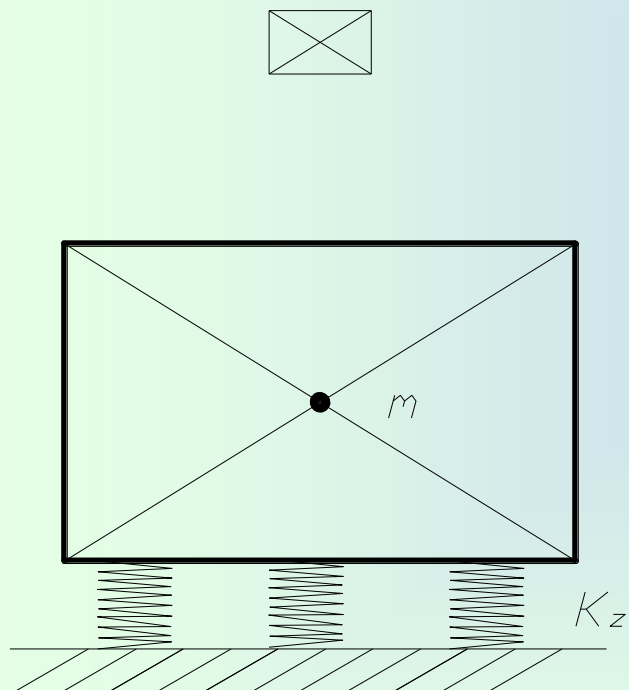
$$C_z = \frac{K_z}{A} \rightarrow$$

$$C_z = C_0 \cdot \left[ 1 + \frac{2 \cdot (a + b)}{\Delta \cdot A} \right] \cdot \sqrt{\frac{P}{P_0}};$$

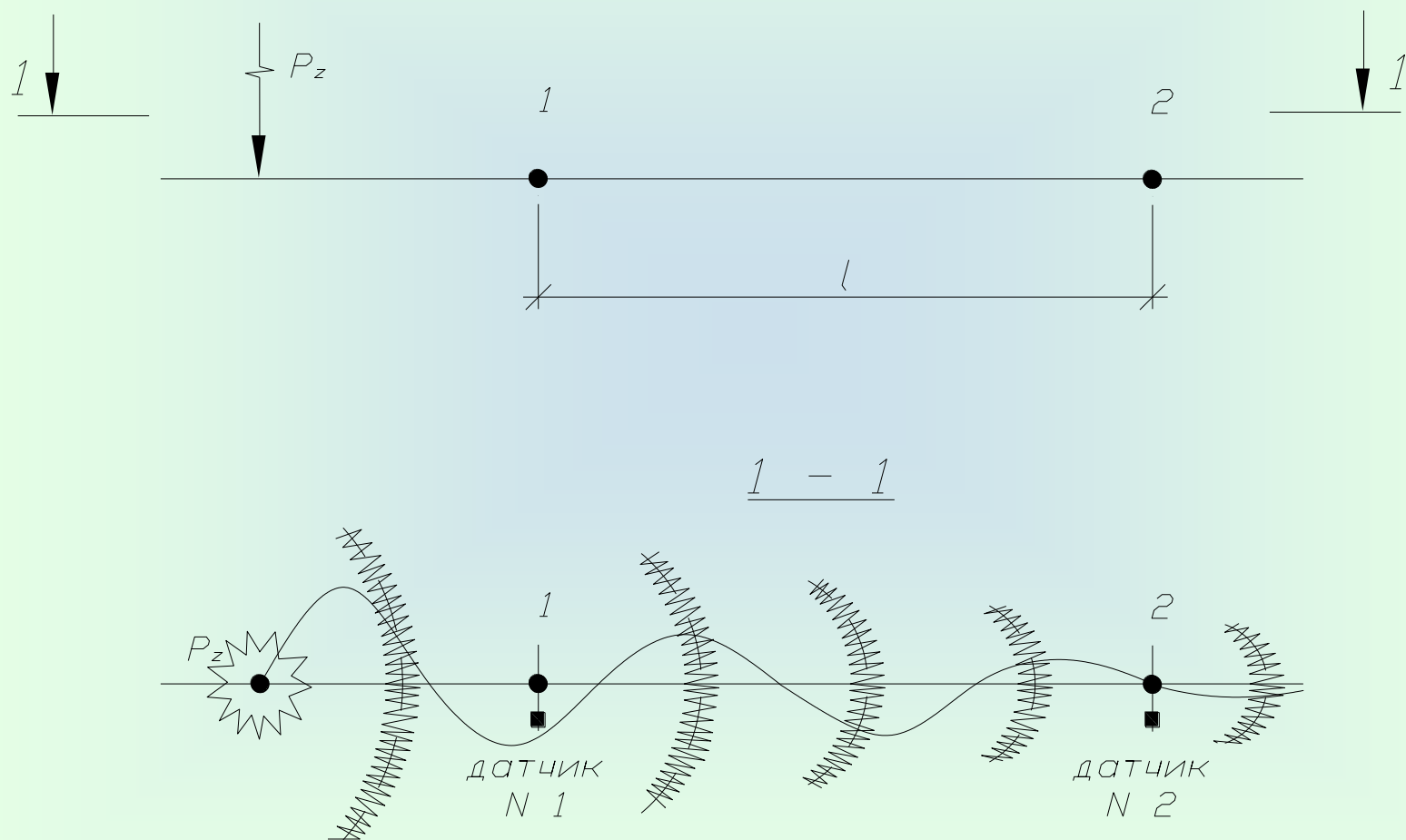
$$C_0 = 17 \cdot \frac{E}{1 - \mu^2} \rightarrow$$

$$E = \frac{(1 - \mu^2) \cdot C_0}{17}.$$

## *2) свободные колебания натуральных фундаментов или их моделей*



**3) при помощи упругих волн, распространяющихся в грунтах**



$$C_1 = \sqrt{\frac{1-\mu}{(1+\mu) \cdot (1-2 \cdot \mu)}} \cdot \frac{E}{\rho};$$

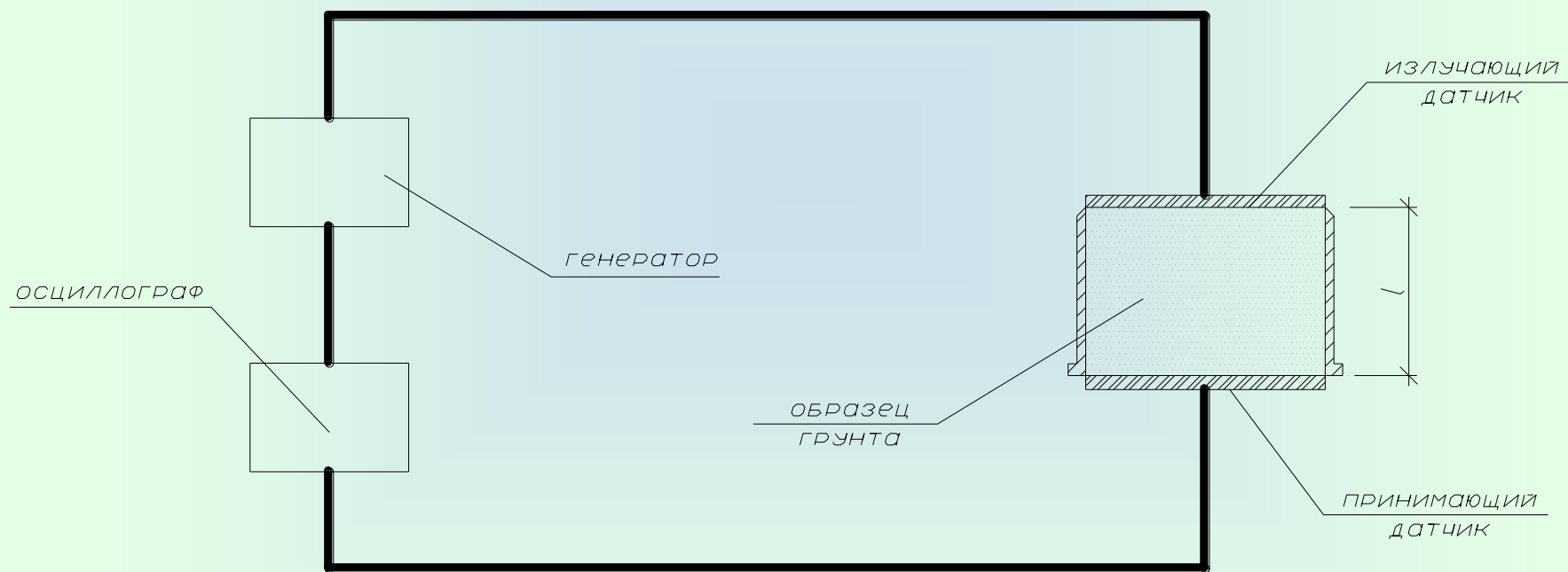
$$C_2 = \sqrt{\frac{G}{\rho}};$$

$$E = 2 \cdot G \cdot (1 + \mu);$$

$$\rho = \frac{\gamma}{g}; \rightarrow$$

$$C_1 = C_2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (1-\mu)}{1-2 \cdot \mu}}.$$

#### ***4) с помощью ультразвукового прозвучивания в лаборатории***



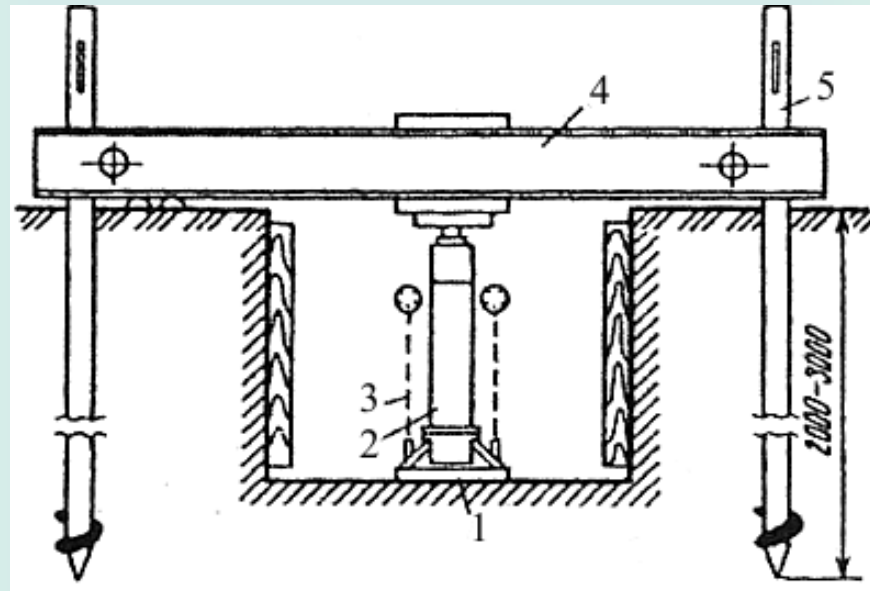
$$C = \frac{l}{t};$$

$$C \rightarrow G \rightarrow E, \mu$$

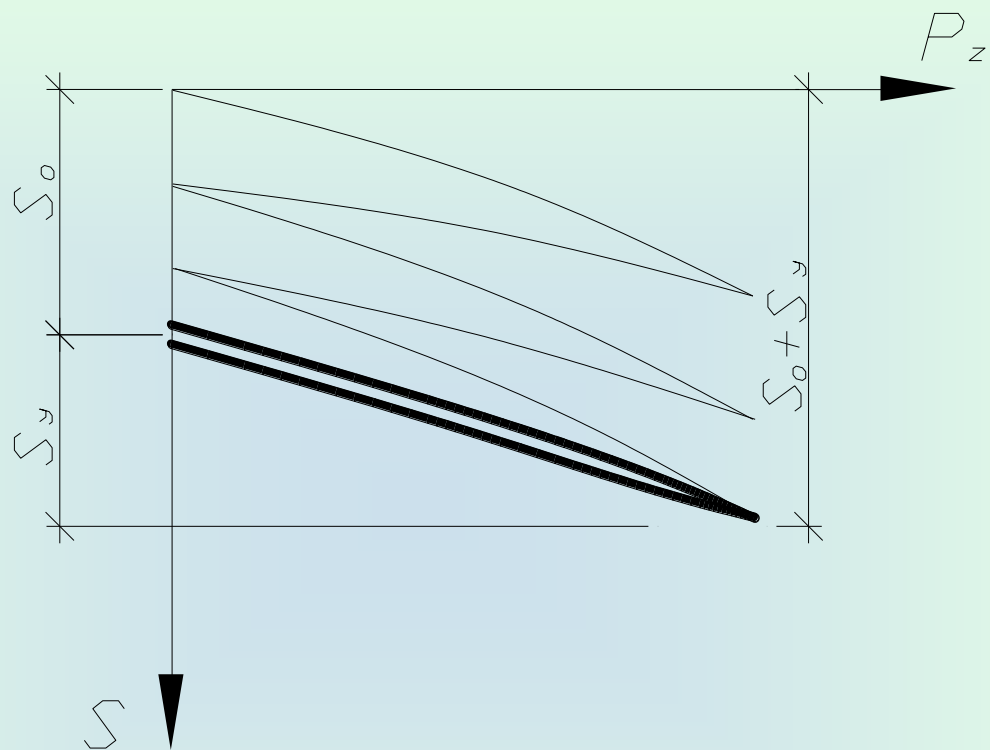


*К статическим методам относятся:*

*1) при помощи штампа*

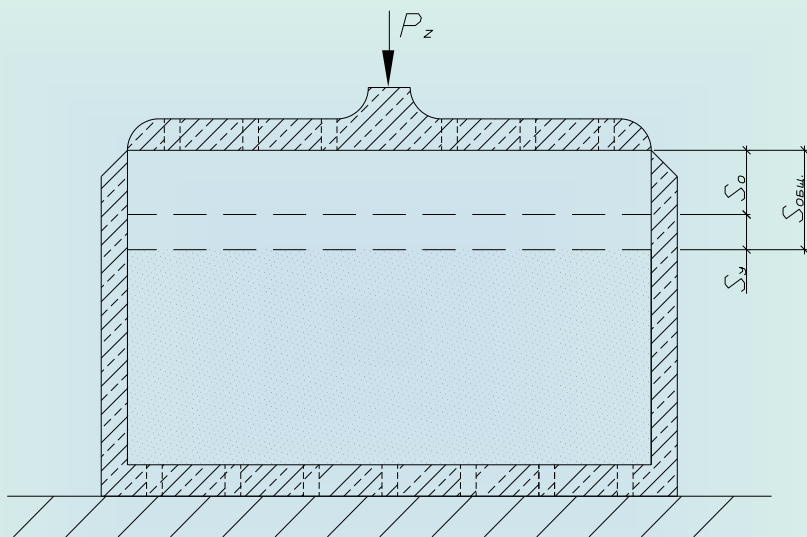


*1 – штамп; 2 – гидравлический домкрат; 3 – индикаторная установка; 4 – продольная упорная балка; 5 – винтовые анкерные сваи*

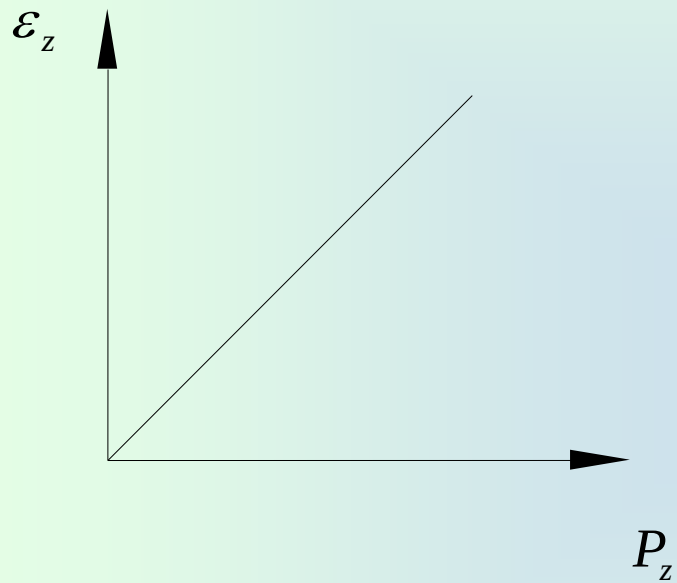


$$E = \omega \cdot \frac{(1 - \mu^2)}{S_y} \cdot P_z \cdot d$$

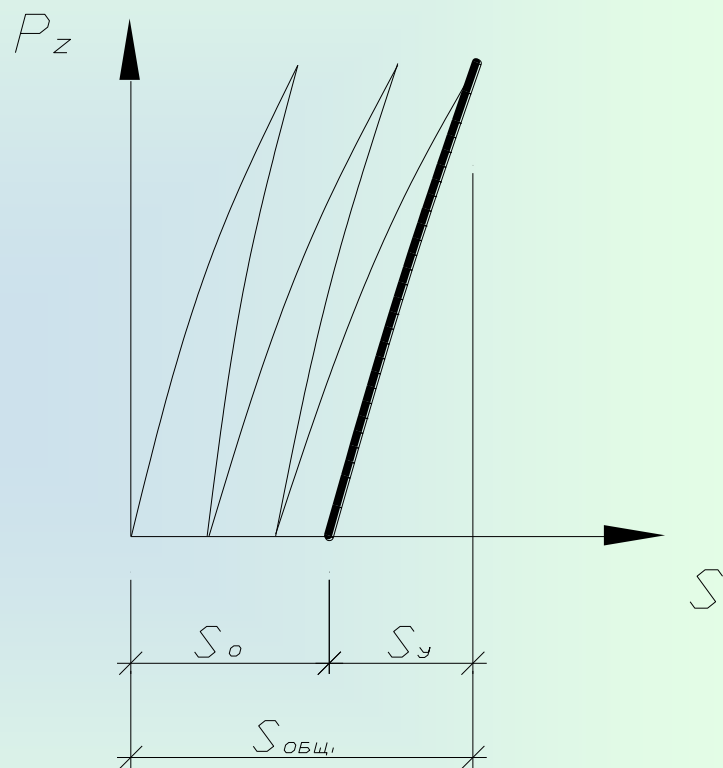
## *2) в компрессионных приборах*



*$S_y$  – равна упругому отпору после многократного циклического нагружения.*



$$\varepsilon_z = \frac{S_y}{h}$$



***Закон Гука:***

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_z}{E} - \mu \cdot \left( \frac{\sigma_x + \sigma_y}{E} \right) \rightarrow$$

$$E = \frac{P_z}{\varepsilon_z} \cdot \left( 1 - \frac{2 \cdot \mu^2}{1 - \mu} \right),$$

$$\sigma_x = \sigma_y = \xi \cdot P_z = \frac{\mu}{1 - \mu} \cdot P_z.$$

**Проектирование и расчет  
фундаментов под машины**

**в соответствии с современными нормами**

**(СП 26.13330.2012.**

**Фундаменты машин с динамическими нагрузками.  
Актуализированная версия СНиП 2.02.05-87)**

**Последовательность**  
**проектирования фундаментов**  
**на естественном основании**

***1. Определяются динамические нагрузки на фундамент от машины, точки их приложения, направления действия, частоты приложения в единицу времени.***



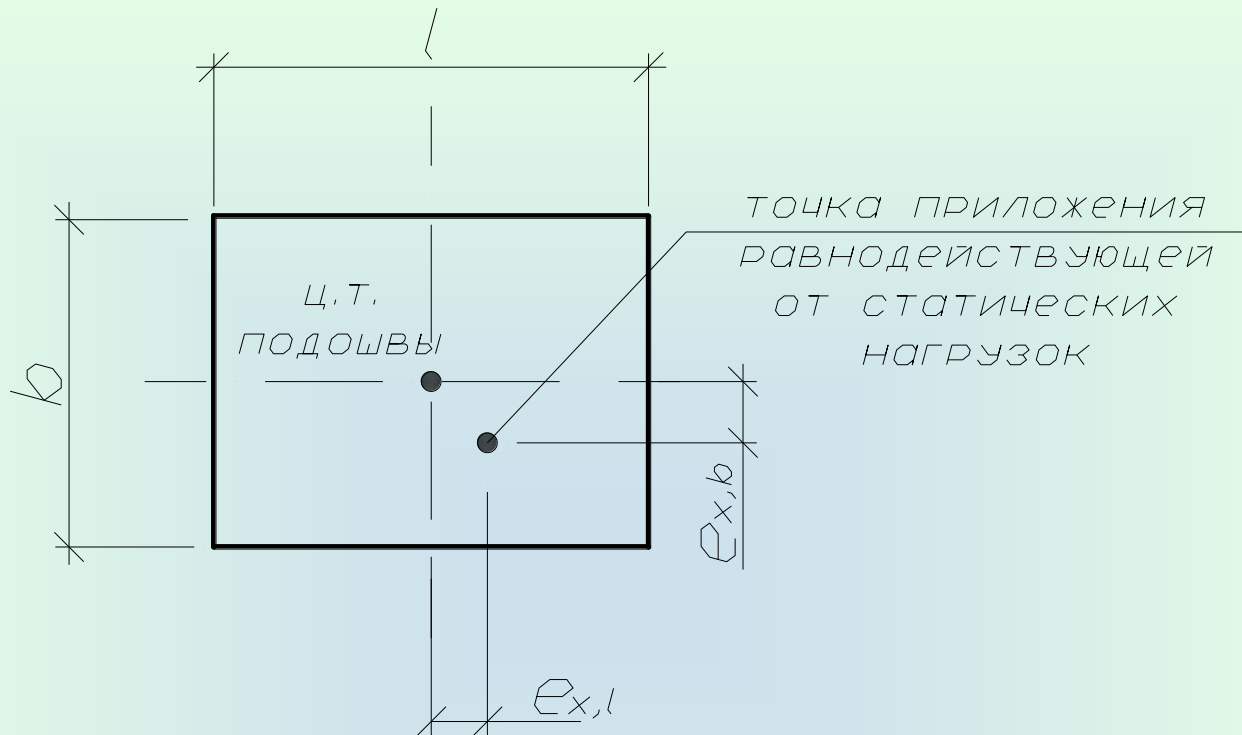
*2. По габаритам опорной части станины, сопрягающейся с фундаментом, назначается геометрическая форма верхнего обреза (стола) фундамента и минимально возможные размеры подошвы фундамента.*

*3. Назначается минимально возможные высота фундамента и глубина его заложения, исходя из конструктивных требований, определяемых опытом проектирования, инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями строительной площадки, условиями прочности тела фундамента и удобства при эксплуатации и др. (в СП 26.13330.2012 (СНиП 2.02.05-87) для некоторых видов машин приведены рекомендуемые высоты фундаментов).*

*4. Выполняется проверка условия совпадения на одной вертикали центра тяжести площади подошвы фундамента и линии действия равнодействующей статических нагрузок от веса машины, фундамента и грунта на обрезах и выступах фундамента.*

*При этом, эксцентриситет, как правило, не должен превышать для грунтов с расчетным сопротивлением  $R \leq 150$  кПа 3 %, а для грунтов с  $R > 150$  кПа – 5 % размера стороны подошвы фундамента, в направлении которой смещен центр тяжести. При несоблюдении условия вносятся коррективы в размеры фундамента в плане.*

*Для оснований, сложенных скальными грунтами, значения эксцентриситетов не нормируются.*



$$e_{x,l} \leq 0,03 \ (0,05)l;$$

$$e_{x,b} \leq 0,03 \ (0,05)b.$$

*5. Определяется среднее статическое давление под подошвой фундамента и сравнивается с расчетным сопротивлением грунта основание.*

$$P \leq \gamma_{c0} \cdot \gamma_{c1} \cdot R,$$

*где  $\gamma_{c0}$  – коэффициент условий работы фундамента (табл. 2 СП (табл. 3 СНиП));*

*$\gamma_{c1}$  – коэффициент условий работы грунтового основания (п. 5.2.19 СП (п. 1.21 СНиП)).*

*Если условие не выполняется, необходимо увеличить размеры фундамента (размеры подошвы или глубину заложения), предусмотреть улучшение строительных свойств грунтового основания.*

*При необходимости выполняется расчет деформаций фундамента (осадка, крен и т.п.), но как правило, этого делать не требуется.*

*6. Выполняется определение упругих характеристик грунтового основания (в СП (СНиПе), как правило, по результатам испытаний; при отсутствии таковых, расчетом).*

$$C_z = b_0 \cdot E \cdot \left( 1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right),$$

*где  $b_0$  – коэффициент, зависящий от вида грунта,  $\text{м}^{-1}$ ;*

*$E$  – модуль деформации грунта,  $\text{кПа}$ ;*

*$A$  – площадь подошвы фундамента,  $\text{м}^2$ ;*

$$A_{10} = 10 \text{ м}^2.$$

$$C_x = 0,7 \cdot C_z,$$

$$C_\varphi = 2,0 \cdot C_z,$$

$$C_\psi = C_z.$$



$$K_z = C_z \cdot A,$$

$$K_\varphi = C_\varphi \cdot I_\varphi,$$

$$K_\psi = C_\psi \cdot I_\psi,$$

*где  $I$  – момент инерции площади подошвы фундамента  
(оси через центр тяжести подошвы).*

*7. Выполняется экспериментальное определение или рассчитываются по формулам показатели демпфирования грунтового основания.*

*Например, для гармонических колебаний:*

$$\xi_z = \frac{2}{\sqrt{p}},$$

*где  $p$  – давление под подошвой фундамента.*

$$\xi_x = 0,6 \cdot \xi_z,$$

$$\xi_\varphi = 0,5 \cdot \xi_z,$$

$$\xi_\psi = 0,3 \cdot \xi_z.$$

**8. Рассчитывается амплитуда колебаний фундамента и сравнивается с предельно допустимой, установленной заданием на проектирование или принимаемой по табл. 5 СП (табл.2 СНиП).**

$$a \leq a_u$$

**Формула для расчета амплитуды колебаний принимается в зависимости от вида динамического усилия, передающегося на фундамент и конструкции самого фундамента (п. 6.2. СП (прил.1 СНиП)).**

*Если условие не выполняется, то в расчет вносятся изменения (см. п.5 ).*

*Всегда, после изменения размеров подошвы фундамента должно проверяться условие совмещения центра тяжести подошвы и линии действия равнодействующей нагрузок.*

*При выполнении условия ( $a \leq a_u$ ) размеры фундамента считаются подобранными верно.*

***9. Выполняется прочностной расчет тела фундамента и армирование (конструктивно или по расчету).***

**Особенности и**  
**последовательность**  
**проектирования**  
**свайных фундаментов**

***1. Определяются динамические нагрузки на фундамент от машины, точки их приложения, направления действия, частоты приложения в единицу времени.***



*2. По габаритам опорной части станины, сопрягающейся с фундаментом, назначается геометрическая форма верхнего обреза (стола) фундамента и минимально возможные размеры подошвы фундамента.*

*3. Назначается минимально возможные высота фундамента и глубина его заложения, исходя из конструктивных требований, определяемых опытом проектирования, инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями строительной площадки, условиями прочности тела фундамента и удобства при эксплуатации и др. (в СП 26.13330.2012 (СНиП 2.02.05-87) для некоторых видов машин приведены рекомендуемые высоты фундаментов).*

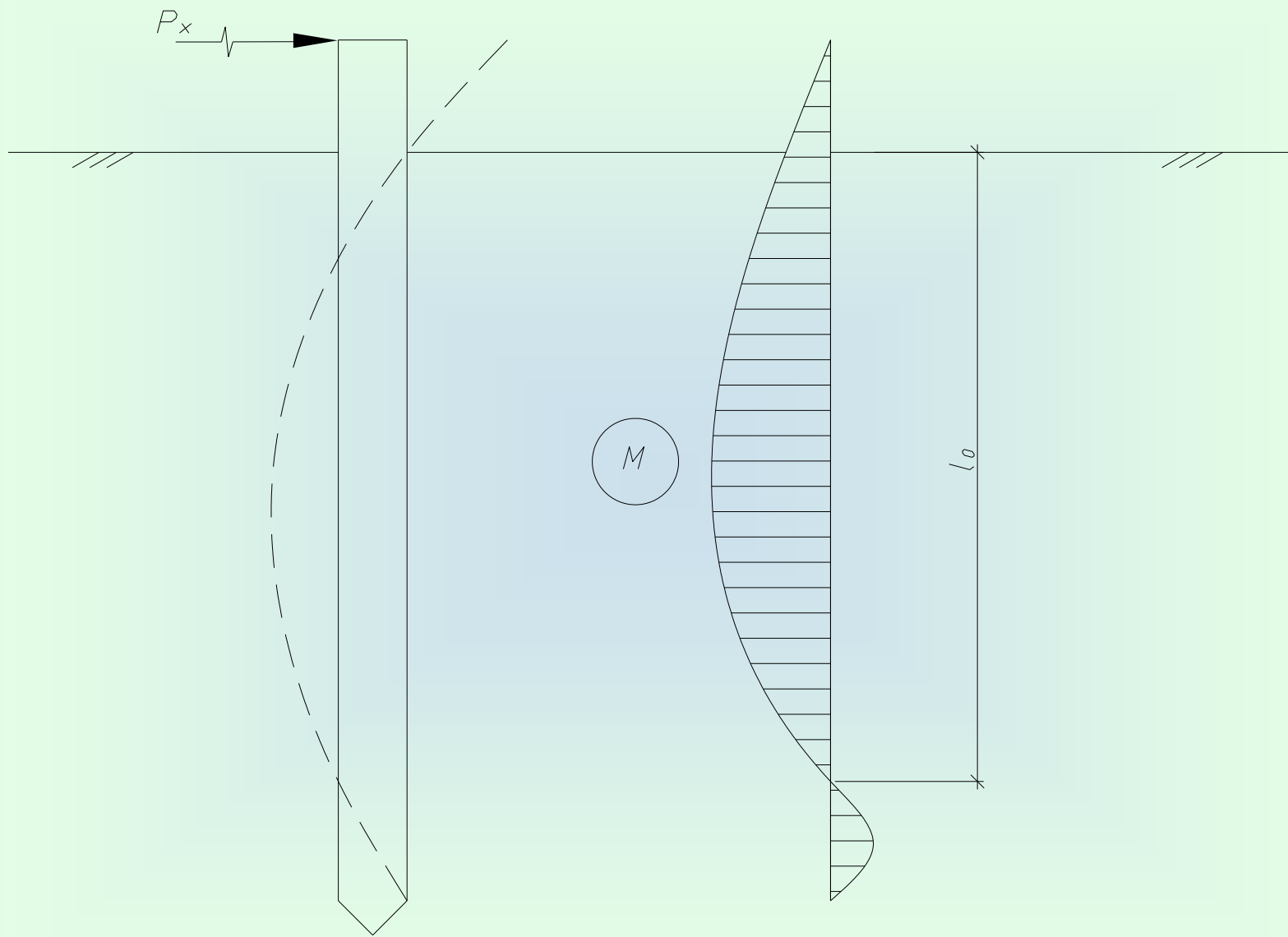
*4. Назначаются длина свай, форма и размеры поперечного сечения (глубина заделки свай в несущий пласт – 0,5-1,0 м, в ростверк – 0,3 м).*

*При действии горизонтальных динамических нагрузок, длину свай можно ограничивать эффективной длиной.*

$$l_0 = (15 \div 22) d,$$

*где  $l_0$  – эффективная длина сваи;*

*$d$  – размер поперечного сечения сваи.*



*5. В контурах назначенных размеров подошвы ростверка производится размещение свай в плане (расстояние между осями свай – от  $3d$  до  $10d$ , свесы ростверка – 100 мм).*

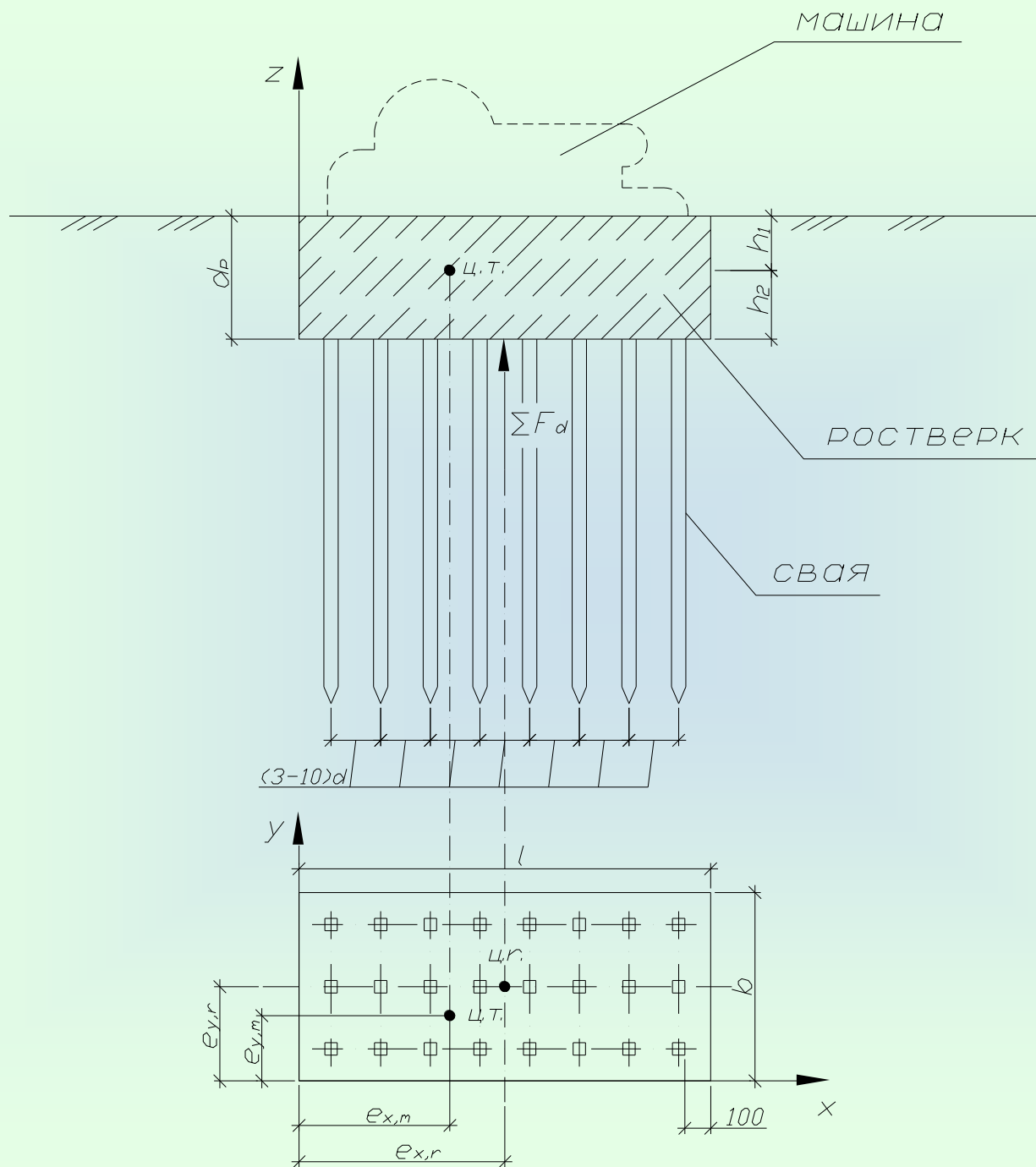
*6. Выполняется проверка величины смещения осей центра тяжести массы системы (машина + ростверк) от осей центра расположения равнодействующей несущей способности (или вертикальной жесткости) свай всего свайного поля.*

*Для висячих свай допускается:*

$$e_{x,l} \leq 0,05l;$$

$$e_{x,b} \leq 0,05b.$$

*Для свай – стоек не нормируется.*



**7. Определяется несущая способность одной сваи ( $F_d$ ).**

$$F_d = \gamma_{c0} \cdot \left( \gamma_{cR} \cdot \gamma_{cp,R} \cdot R \cdot A + u \cdot \sum \gamma_{cp,f} \cdot \gamma_{cf} \cdot f_i \cdot h_i \right),$$

**где  $\gamma_{c0}$ ,  $\gamma_{cp,R}$ ,  $\gamma_{cp,f}$  - дополнительные коэффициенты условия работы основания, учитывающие действие динамической нагрузки (табл. 2 и п. 6.6.1 СП (табл.3 и 5 СНиП));**



$\gamma_{cR}, \gamma_{cf}$  – дополнительные коэффициенты условия работы основания, учитывающие влияние способа погружения свай на расчетные сопротивления грунта (табл. 6 СП (табл. 3 СНиП));

$R, f_i$  – расчетные сопротивления грунтов под нижним концом сваи и по ее боковой поверхности (табл. 7.2 7.3 СП 24.13330.2011 (табл. 2 и 3 СНиП 2.02.03-85));

$A, u \sum h_i$  – площади поперечного сечения нижнего конца и боковой поверхности сваи, соответственно.

**8. Проверяется достаточность принятого количества свай.**

$$F \leq n \cdot \frac{F_d}{\gamma_k},$$

**где  $n$  – принятое количество свай;**

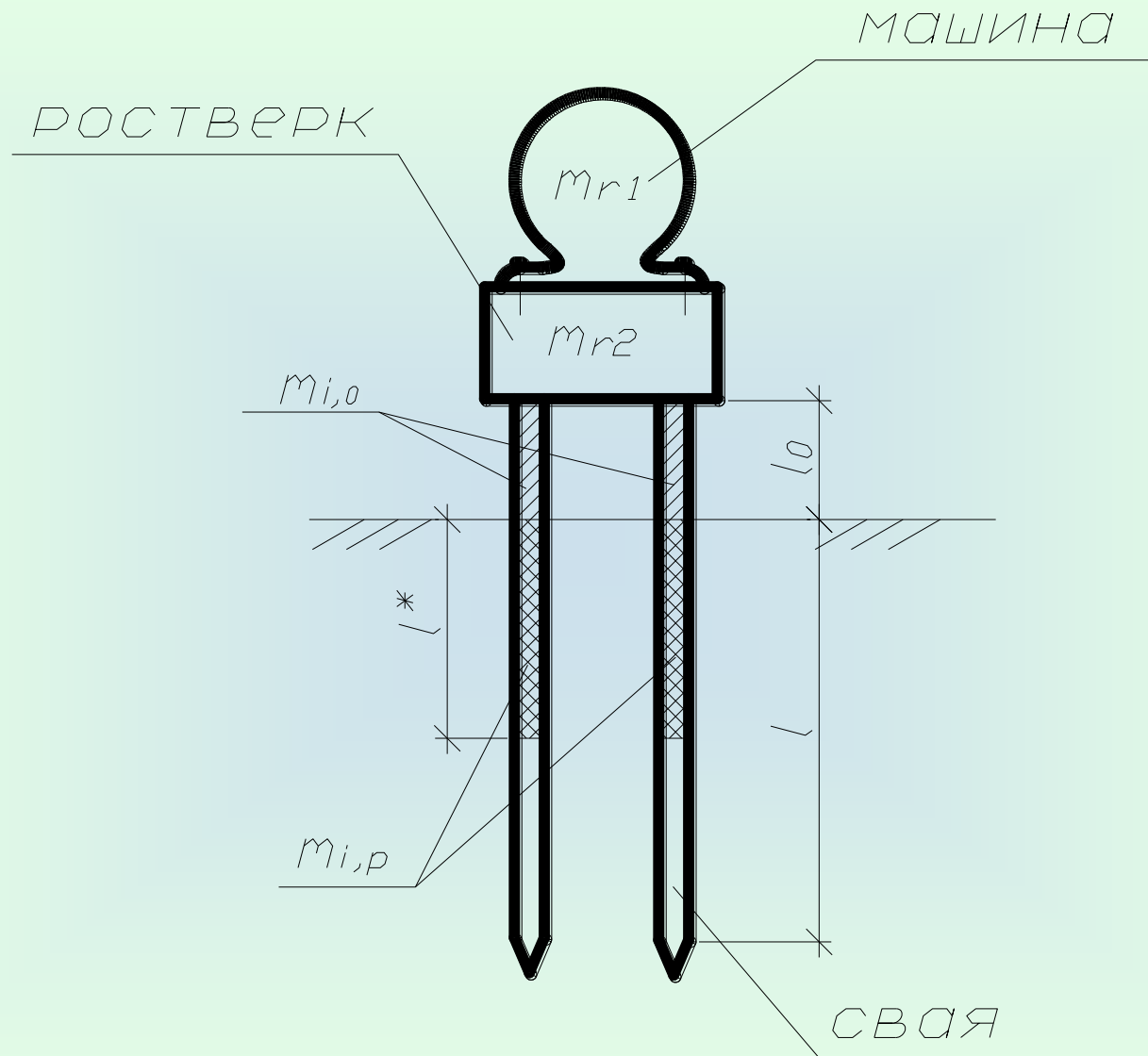
**$F$  – равнодействующая расчетной статической нагрузки в основном или особом сочетании;**

**$\gamma_k$  – коэффициент надежности.**

*Если условие не выполняется, то увеличивается количество свай.*

*При необходимости выполняется расчет деформаций ( $S \leq S_u$ ).*

***9. Определяются приведенная масса системы, жесткость и момент инерции по формулам, приведенным в СП, п. 6.6.3 (СНиП, п. 1.36).***



## *Приведенная масса системы машина – фундамент:*

$$m_{x,red} = m_r + \beta_z^* \sum_{i=1}^n m_{i,p} + \sum_{i=1}^n m_{i,0},$$

*где  $m_r$  – общая масса ростверка и машины;*

$\sum_{i=1}^n m_{i,p}$  – *масса частей свай, заглубленных в грунт;*

$\sum_{i=1}^n m_{i,0}$  – *масса частей свай, расположенных выше поверхности грунта;*

$\beta_z^*$  – *коэффициент, зависящий от сопротивления грунта по боковой поверхности сваи.*

## *Приведенная жесткость системы машина–фундамент:*

$$K_{z,red} = \frac{K_{z,red}^*}{1 + \frac{K_{z,red}^* \cdot l_0}{n \cdot E_b \cdot A_p}},$$

*где  $E_b$  – модуль упругости бетона;*

*$A_p$  – площадь поперечного сечения сваи;*

*$K_{z,red}$  – условная приведенная жесткость, зависящая от геометрических характеристик сваи, упругих характеристик ее материала и свойств грунта.*

*10. Выполняется экспериментальное определение или рассчитываются по формулам показатели демпфирования грунтового основания.*

*Для неустановившихся вертикальных колебаний:*

$$\xi_z = 0,5;$$

*для установившихся вертикальных колебаний:*

$$\xi_z = 0,3.$$



$$\xi_x = 0,6 \cdot \xi_z,$$

$$\xi_\varphi = 0,5 \cdot \xi_z,$$

$$\xi_\psi = 0,3 \cdot \xi_z.$$

*11. Рассчитывается амплитуда колебаний фундамента и сравнивается с предельно допустимой, установленной заданием на проектирование или принимаемой по табл. 5 СП (табл.2 СНиП).*

$$a \leq a_u$$

*Формула для расчета амплитуды колебаний принимается в зависимости от вида динамического усилия, передающегося на фундамент и конструкции самого фундамента (п. 6.2 СП (прил.1 СНиП)).*

*Если условие не выполняется, то в расчет вносятся изменения (увеличиваются количество свай и размеры ростверка) и расчет повторяется.*

*При выполнении условия ( $a \leq a_w$ ) количество и длина свай считаются подобранными верно.*

***12. Выполняется прочностной расчет тела ростверка и армирование (конструктивно или по расчету).***

*Мероприятия и способы*  
*снижения уровня колебаний фундаментов машин*

*1. Устранение (уменьшение влияния) источника колебаний путем уравнивания, балансировки или центровки движущихся частей машин.*

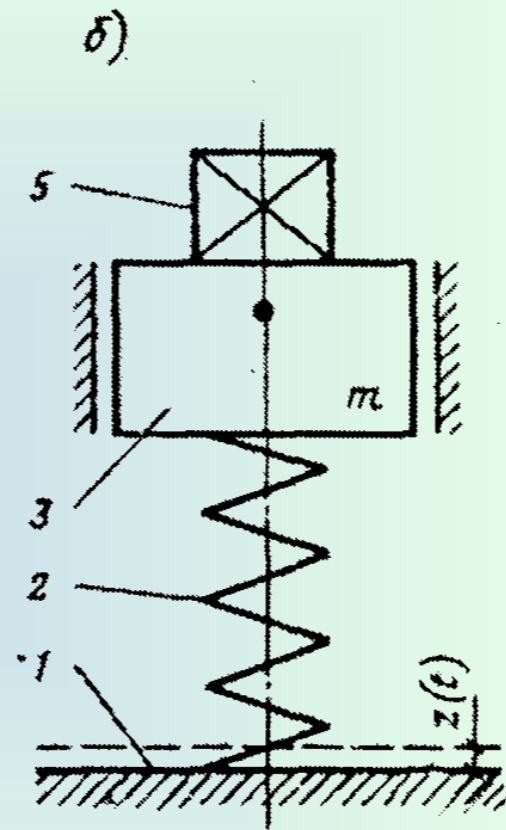
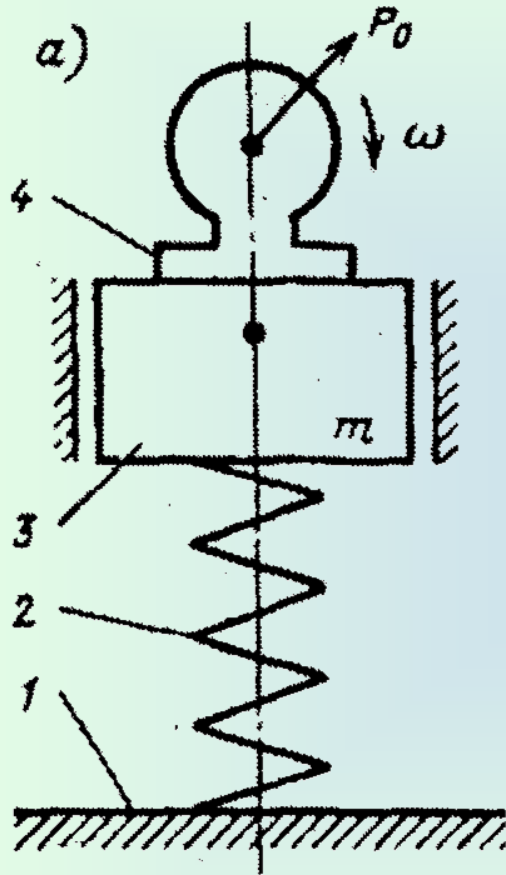
*2. Изменение технологического процесса, замена неуравновешенных машин уравновешенными или их перенос на участок, достаточно удаленный от объектов, чувствительных к вибрациям.*

*3. Традиционные конструктивные способы снижения уровня колебаний фундаментов (повышение жесткости основания, переустройство фундамента, изменение размещения машины на фундаменте и расположения фундамента машины в плане).*

*4. Использование различных видов виброизоляции и динамических гасителей колебаний.*

# **Виброизолированные** **фундаменты**

## Простейшие схемы виброизоляции



$a$  — силовой;  $б$  — кинематической;  $1$  — основание;  $2$  — упругий элемент;  $3$  — постамент;  $4$  — машина;  $5$  — защищаемый объект.



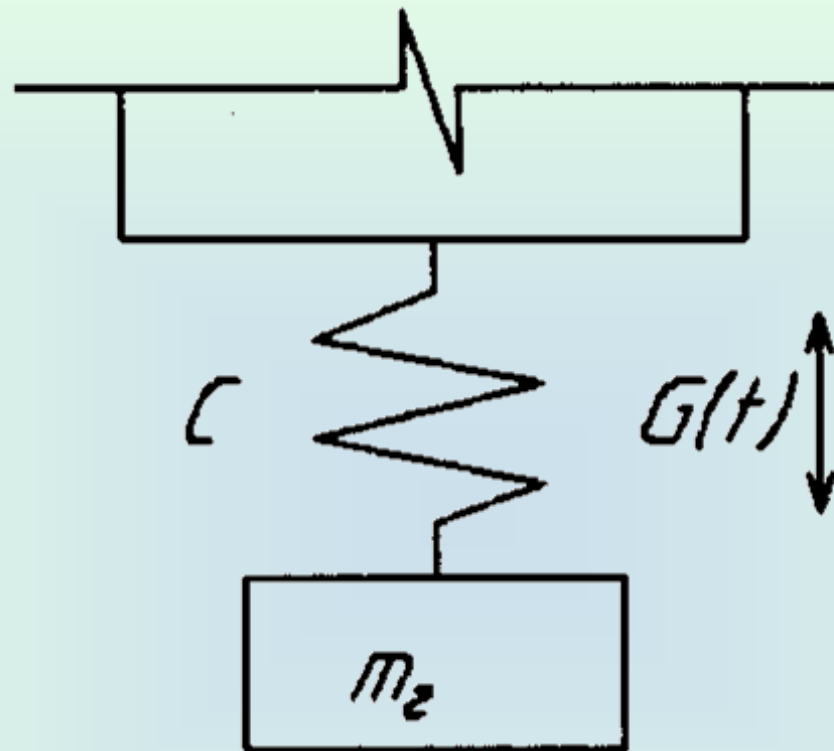
**Активная (силовая) – виброизоляция, воспринимающая динамическую нагрузку, передаваемую на объект колебания, расположенный на виброизоляции и транслирующая эту нагрузку на грунтовое основание. При этом источник колебаний находится внутри системы.**

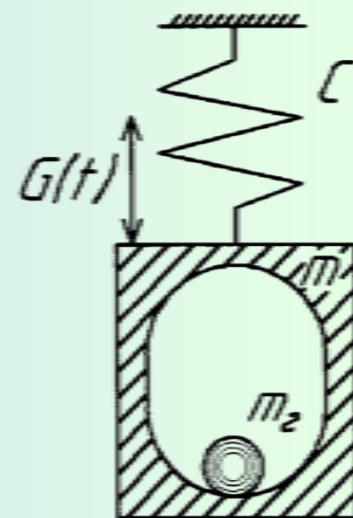
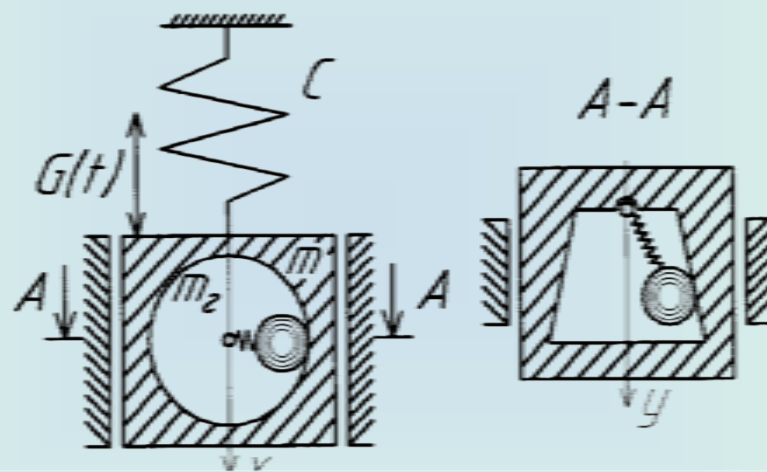
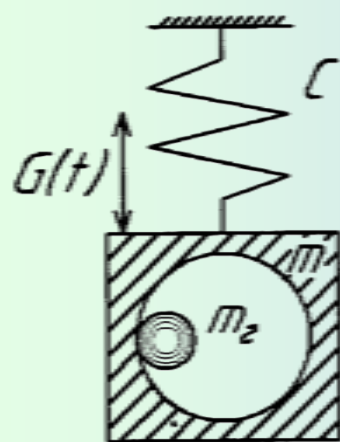
**Пассивная (кинематическая) - виброизоляция, воспринимающая динамическую нагрузку, приходящую со стороны основания и передающая ее на защищаемый объект. Т.е., виброизолируемый объект требуется защитить от колебаний поддерживающей его конструкции.**

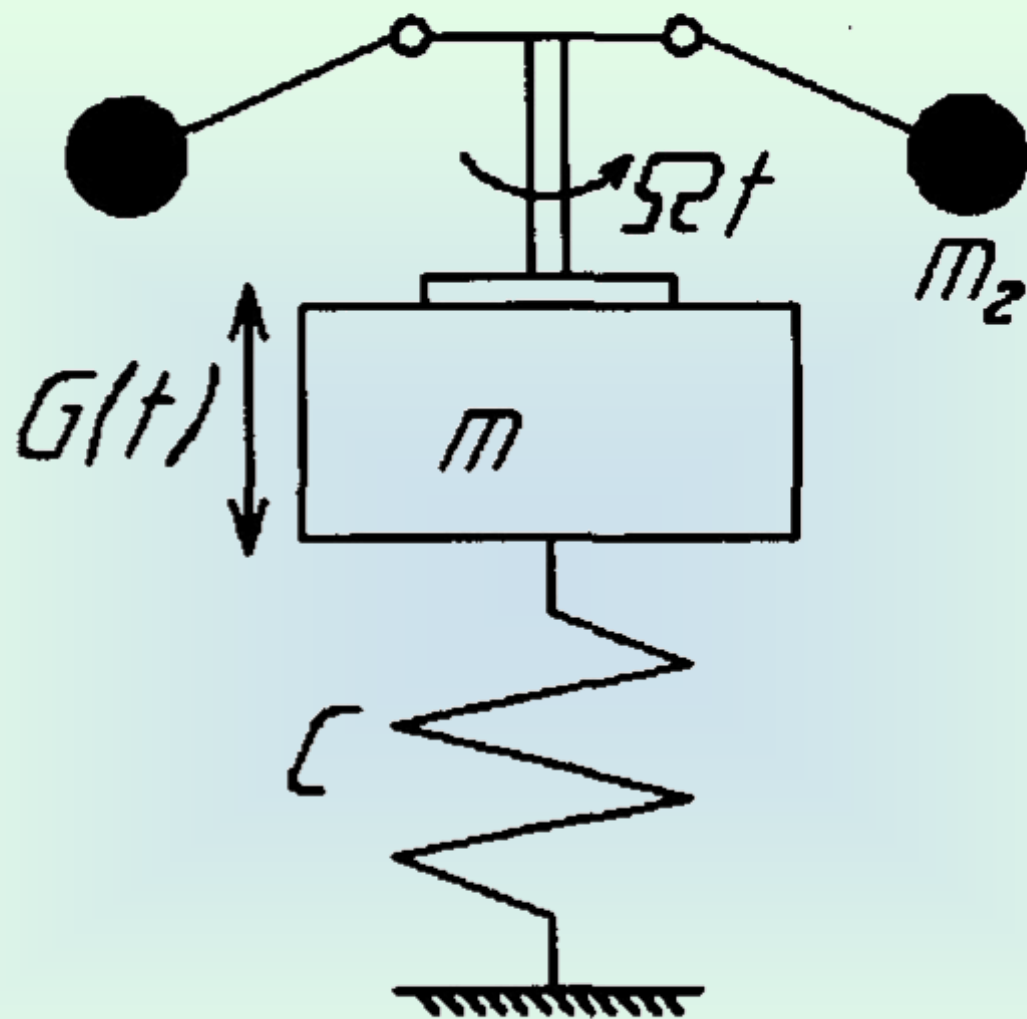
*Динамические*  
*гасители колебаний*

*Это дополнительные динамические устройства, присоединенные к объекту, подлежащему виброзащите, с целью изменения его вибрационного состояния. Делятся на динамические и ударные, регулируемые и нерегулируемые, активные и пассивные. К динамическим гасителям относят также различного вида ограничители колебаний.*

*Динамические: пружинного типа, катковые и маятниковые.*

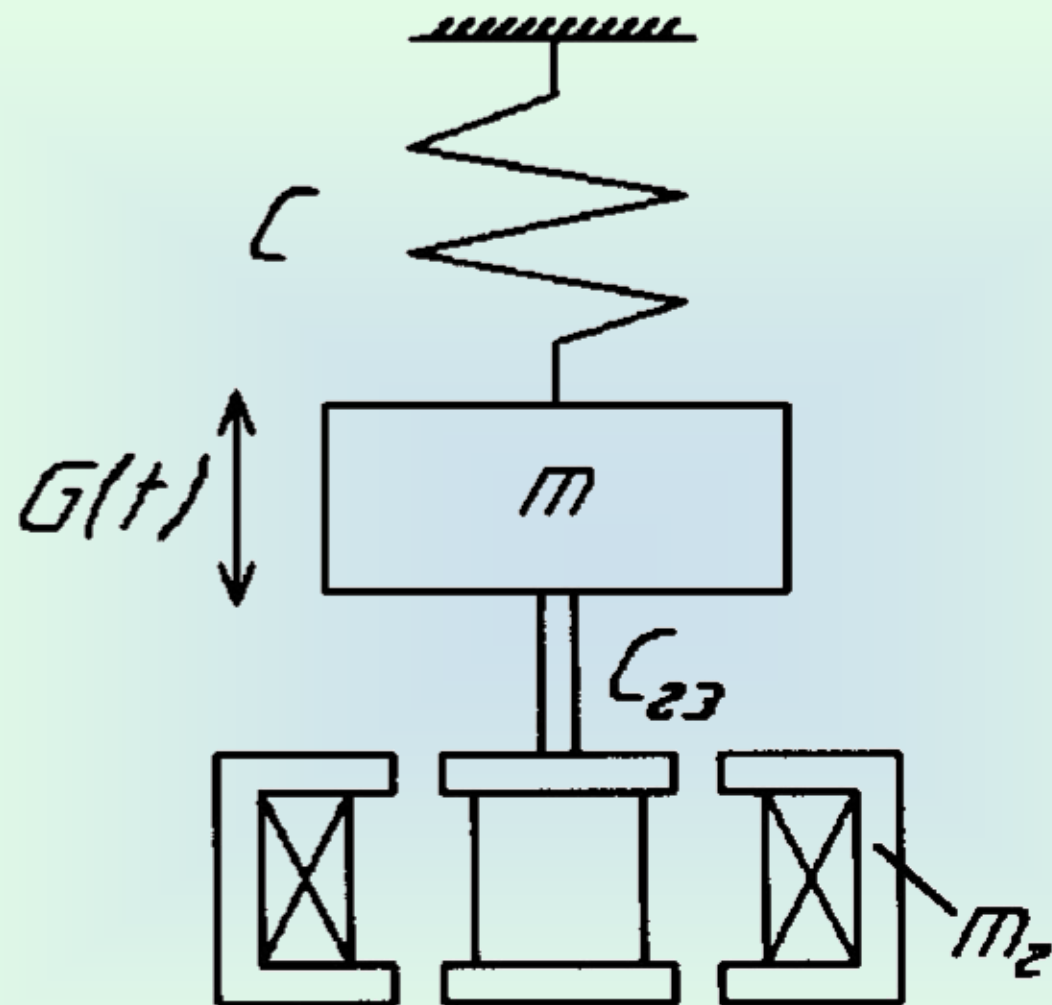




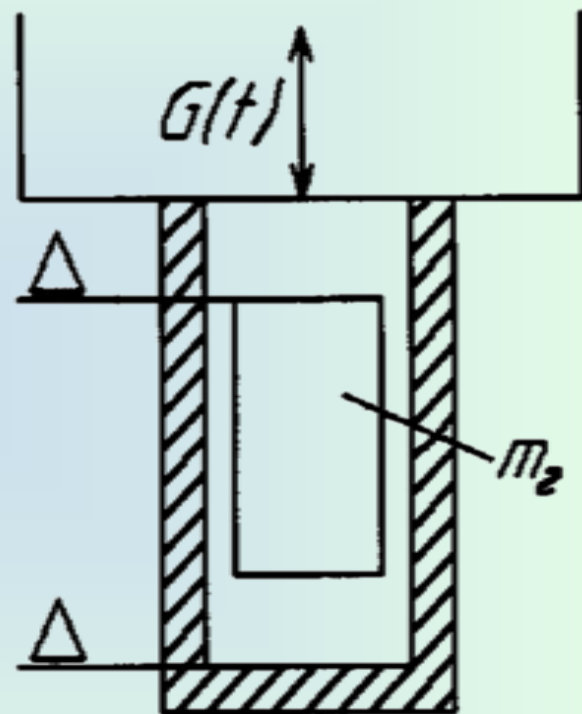
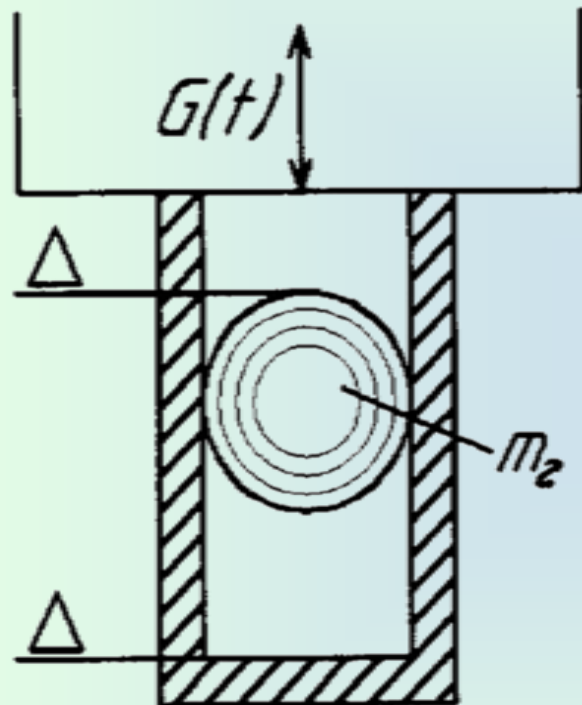


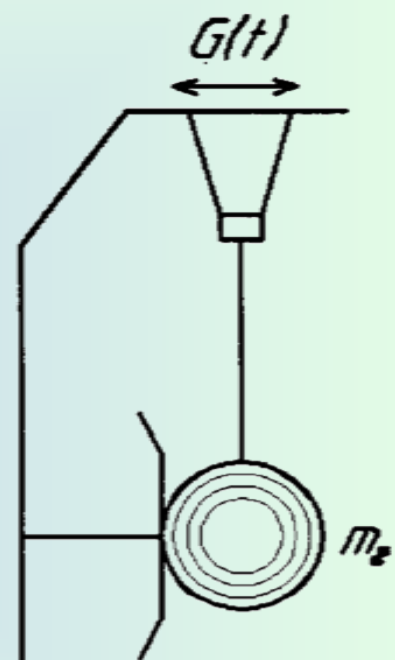
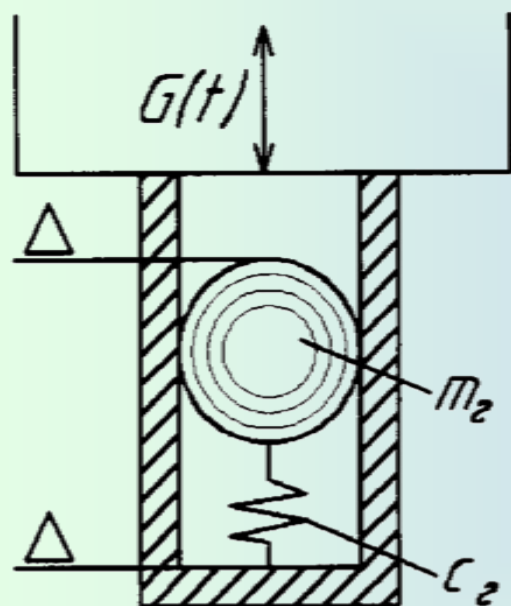
*Выше приведенные гасители относятся к категории пассивных, если снабдить любой из них собственным источником энергии, то они становятся активными. Например, динамический гаситель с использованием электромагнита для регулирования жесткости подвеса при гашении продольных колебаний:*



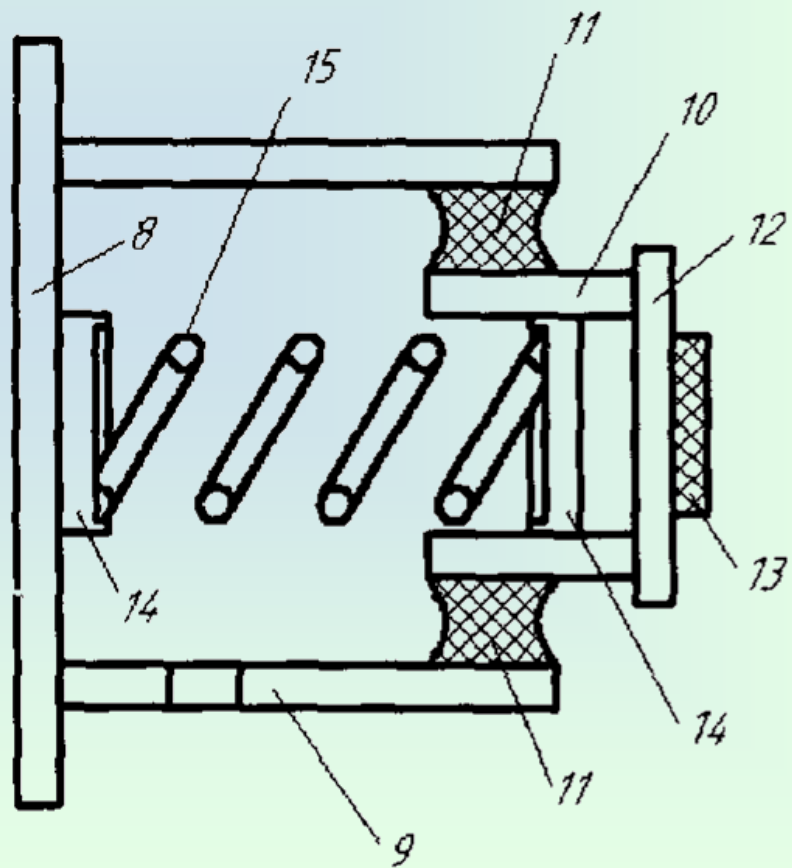
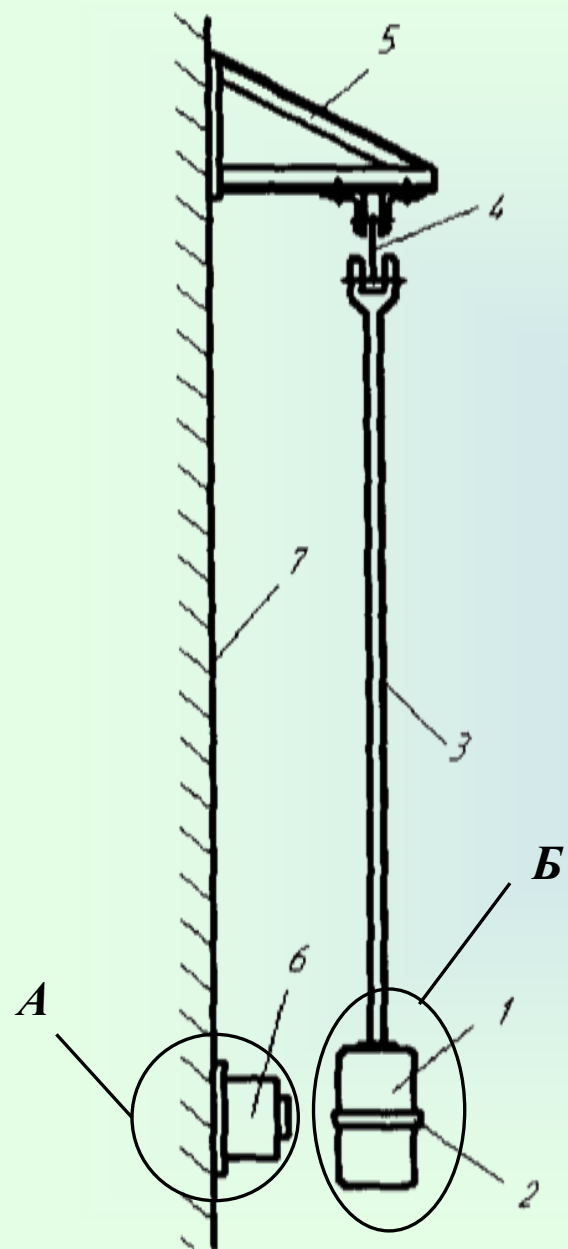


***Ударные: плавающего, пружинного и маятникового  
типа.***

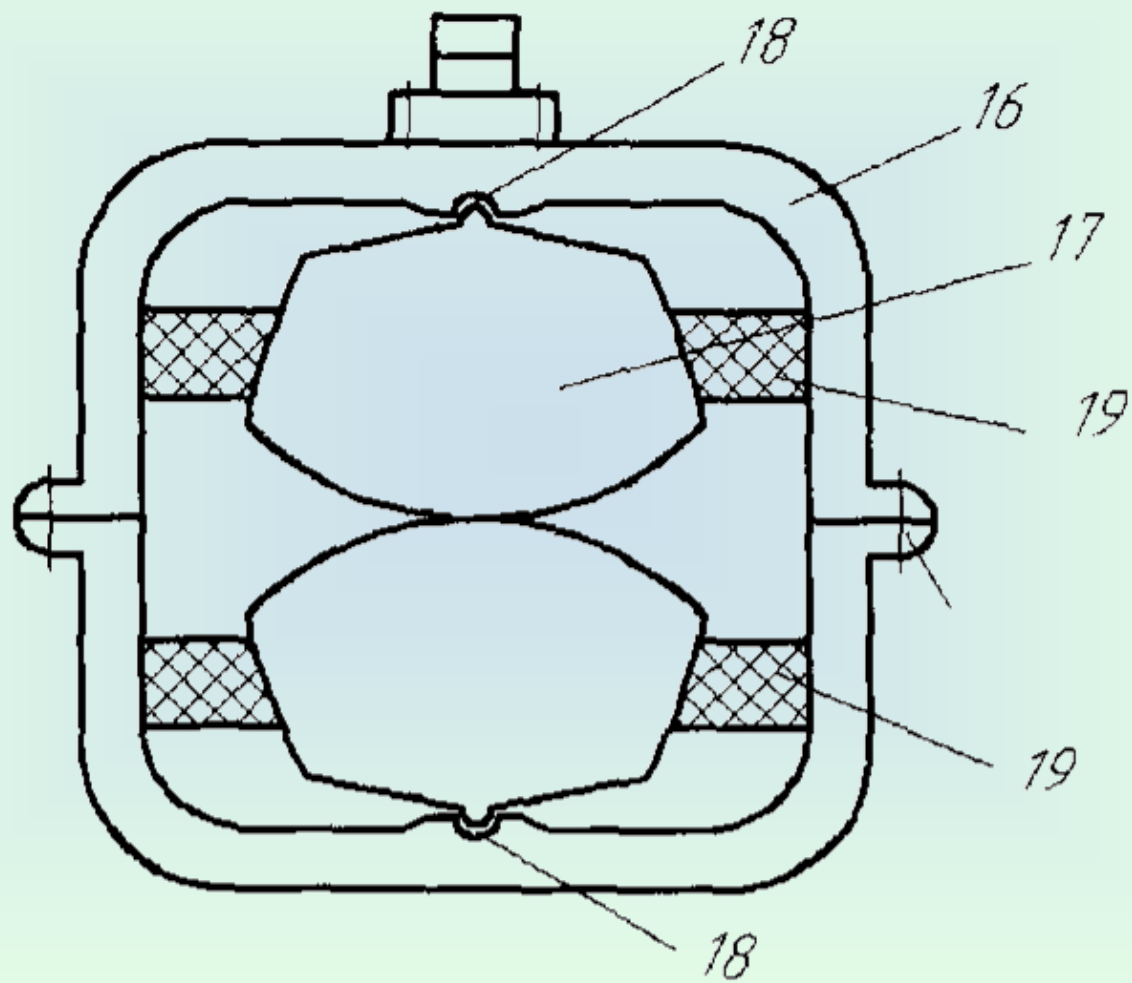




# *Гаситель ударный маятникового типа*



**Б**



***Обозначения к рис. ударного маятникового гасителя:***

***1 – масса гасителя ( $m_2$ );***

***2 – ударник (узел Б);***

***3 – стержень (маятник);***

***4 – шарнир;***

***5 – кронштейн;***

***6 – бойное приспособление (узел А);***

***7 – защищаемый фундамент.***

## ***Обозначения к узлам А и Б:***

***8 – опорная плита;***

***9 – корпус;***

***10 – втулка;***

***11, 19 – вязкоупругие элементы;***

***12 – пластина;***

***13 – прокладка;***

***14 – тарелки;***

***15 – пружина;***

***16 – полая оболочка (корпус);***

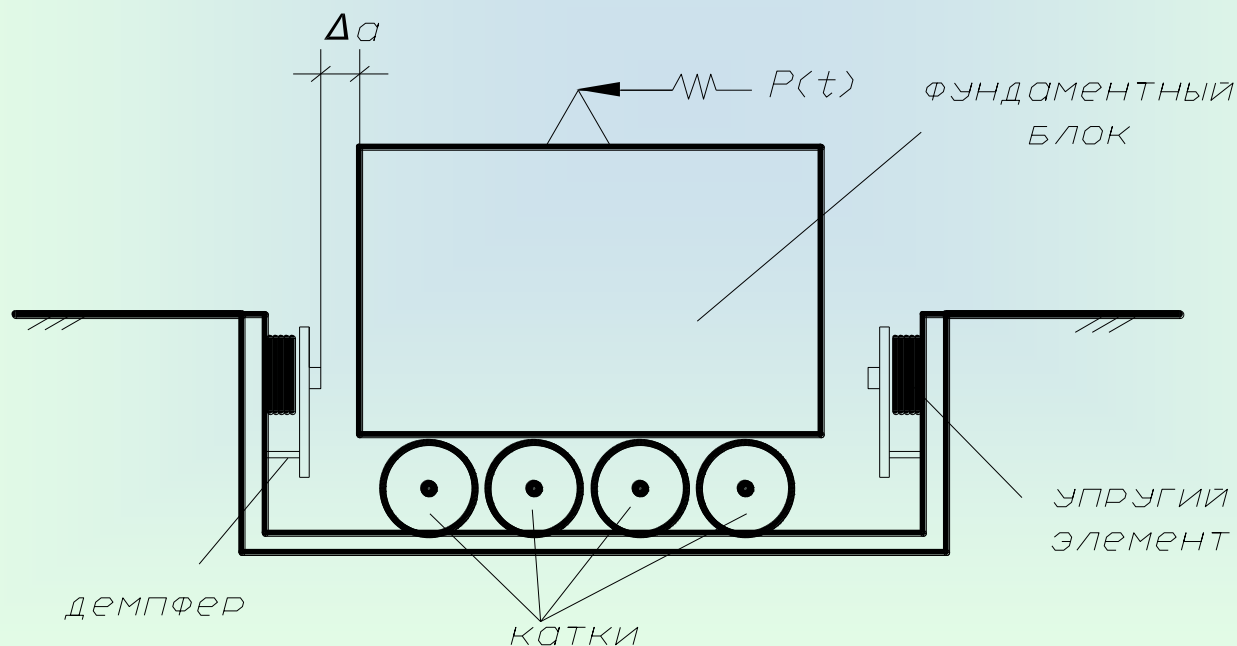
***17 – массивные элементы;***

***18 – опорные точки.***



## Ограничители колебаний

Устройства, включающиеся в работу при достижении определенного (сверхнормативного) уровня колебаний.



**Экспериментальные методы изучения**  
**колебаний фундаментов под машины**

## *Цели*

*экспериментального изучения колебаний фундаментов:*

*1). Определение допустимости вибрации и соответствия ее параметров расчетным характеристикам, полученным при проектировании фундаментов.*

*2). Определение динамических характеристик системы «основание-фундамент», в том числе, для нахождения упругих параметров грунтов.*

*3). Исследование и уточнение истинного характера и динамических процессов в системе «основание-фундамент» для разработки и совершенствования методов расчета и конструирования оснований и фундаментов с учетом динамических явлений.*

**Измерение колебаний** – регистрация основных параметров колебаний и запись их результатов на определенный носитель информации (бумага, магнитные ленты, электронные накопители и т.п.) для последующего анализа.

***Приборы для измерения колебаний:***

***1) механические;***

***2) оптические;***

***3) электрические (электронные);***

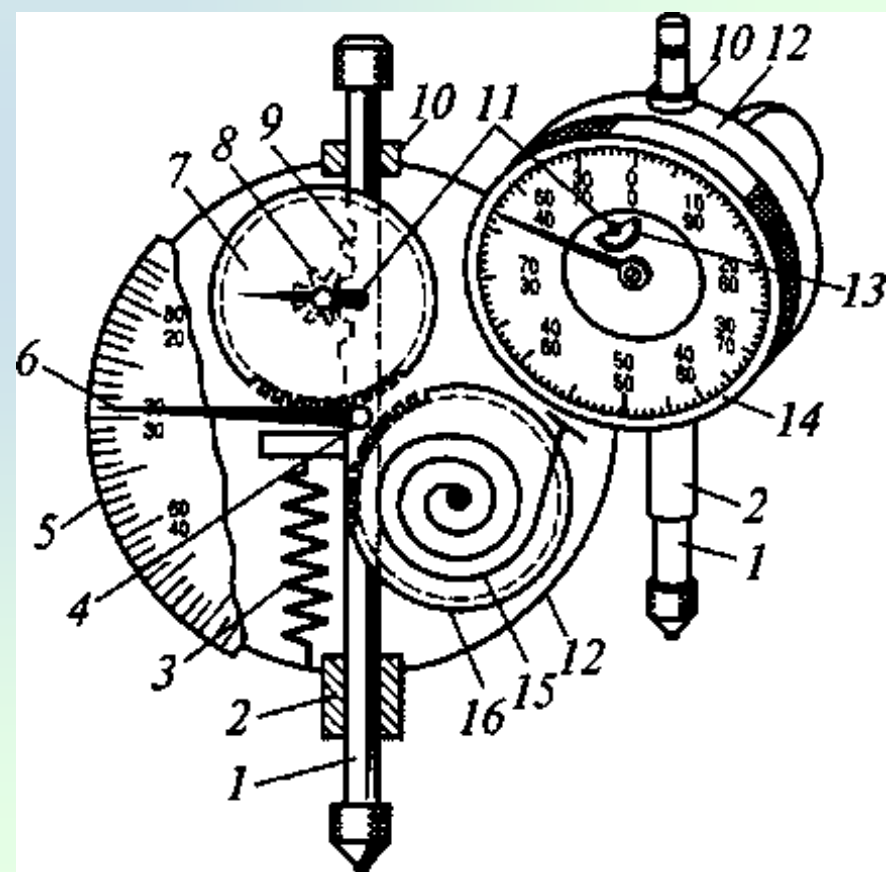
***4) бесконтактные (лазерные).***

**Механические** – приборы для измерения параметров колебаний (чаще только амплитуды и (или) частоты виброперемещений), базирующиеся на принципе непосредственной передачи вибрации на рычажную систему, служащую для преобразования (уменьшения или увеличения) размаха колебаний и передачи механического сигнала на регистрирующий элемент (бумага восковая, бумага для записи пером и т.п.) или без документальной регистрации.

*К таким относятся:*

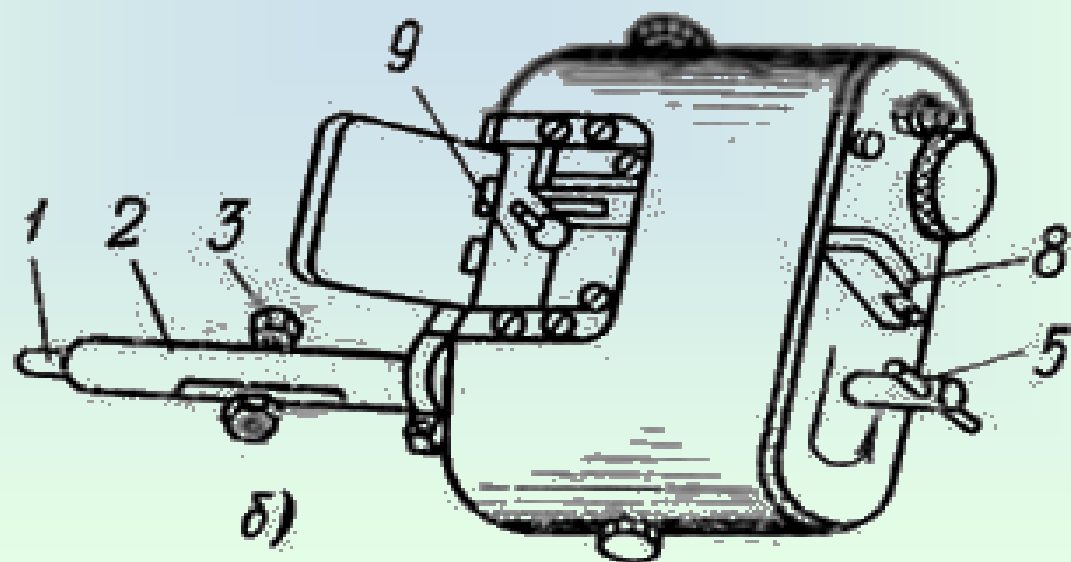
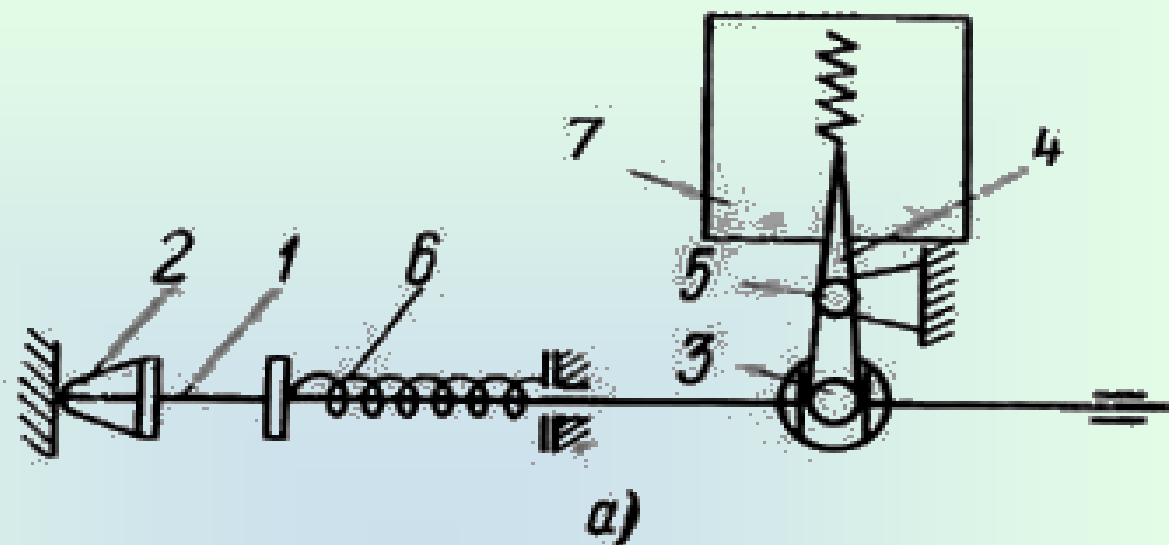
*- индикатор деформаций часового типа (цена деления 0,01 мм; амплитуды колебаний определяются визуальным наблюдением за перемещением стрелки на циферблате прибора, используя в качестве опоры неподвижный объект или большую массу (тело человека)).*



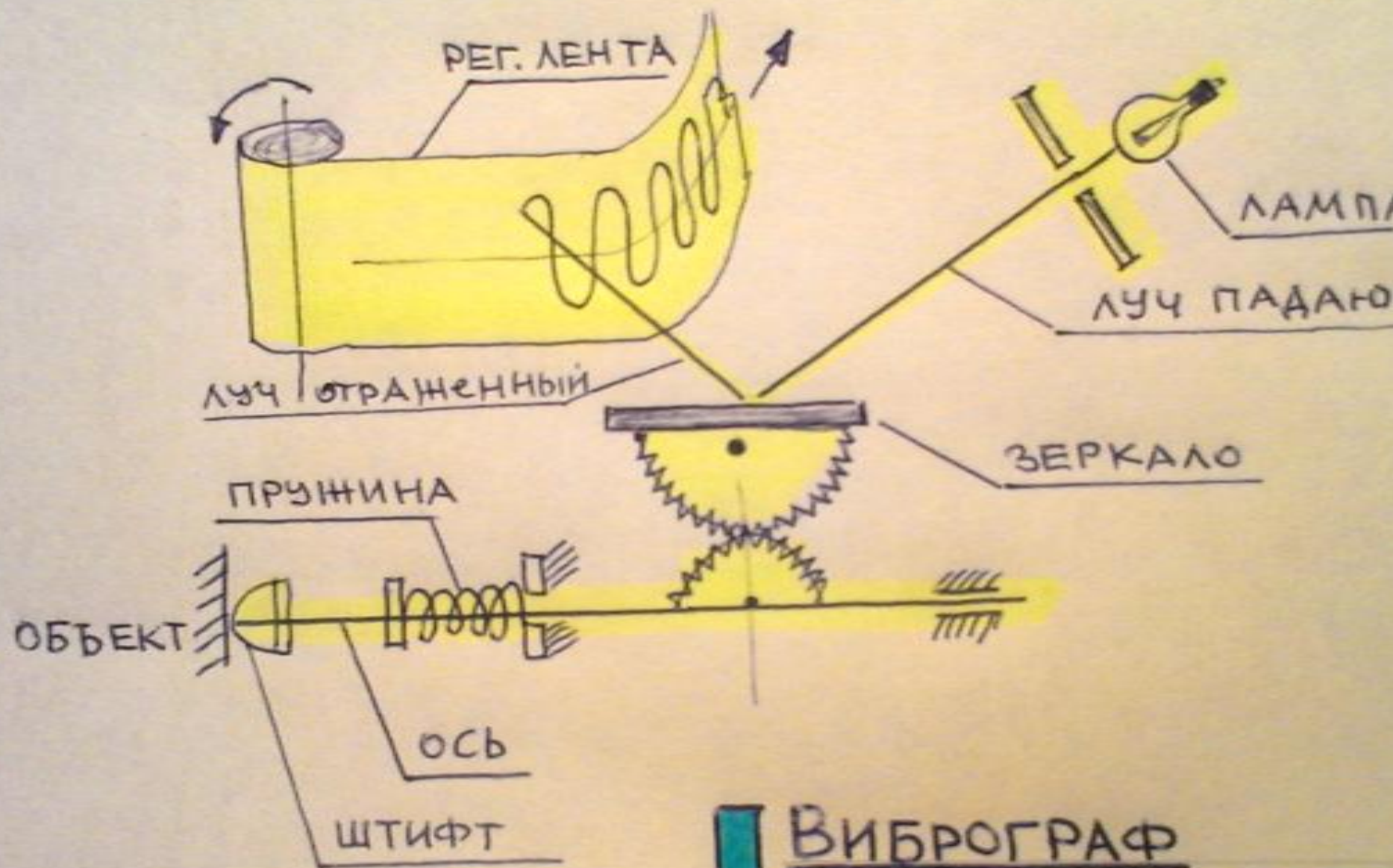


- ручной измерительный прибор Гейгера (отечественный аналог ВР-1) (возможность записи колебаний на вощённую бумагу методом процарапывания или на бумажную ленту чернильным пером, амплитуды при записи можно увеличить до 36 раз или уменьшить в 4 раза, имеется возможность делать временные отметки на ленте – интервал 0,1 сек).

## Виброграф ВР-1



Оптические приборы – приборы для измерения амплитуд и частот колебаний с использованием «оптического рычага» - системы зеркал и линз, передающих световой луч на фотобумагу от зеркала, механически соединенного с колеблющимся телом (имеют большую точность и разрешающую способность в сравнении с первыми, но более сложные в обращении, требуют более высокой квалификации обслуживающего персонала).



## **ВИБРОГРАФ** **ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЙ (СЕРИЯ 1)**

*В настоящее время механические и оптические измерители практически не используются, т.к. имеют ряд недостатков:*

- невысокая точность измерения,*
- возможность записи колебаний только в одной точке и необходимость находится вблизи исследуемого фундамента,*
- сложность обработки данных (невозможность подключения современных компьютеризированных средств),*
- моральное устаревание.*



Электрические приборы – приборы основаны на преобразовании кинетических параметров колебательного движения в электрические величины, которые затем измеряются и регистрируются с помощью электроизмерительных приборов или регистраторов электронных сигналов (при соответствующих программах записываются сразу на жесткий диск процессора или флэш - накопители).

*Различают два класса преобразователей механических величин в электрические:*

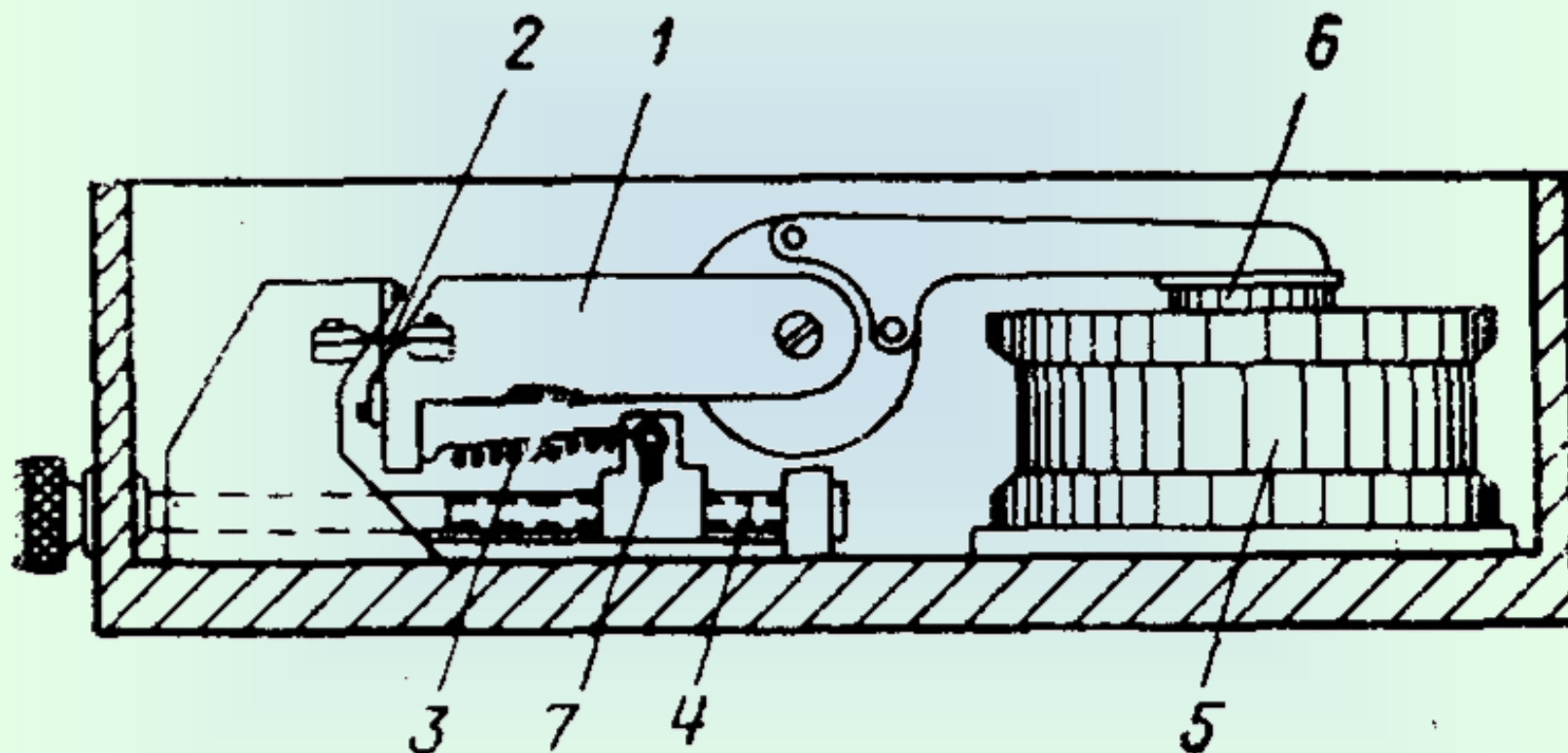
- генераторные, т.е. вырабатывающие э.д.с. при движении;*
- параметрические, изменяющие параметры системы и электрический ток в цепи, питаемой от самого прибора.*

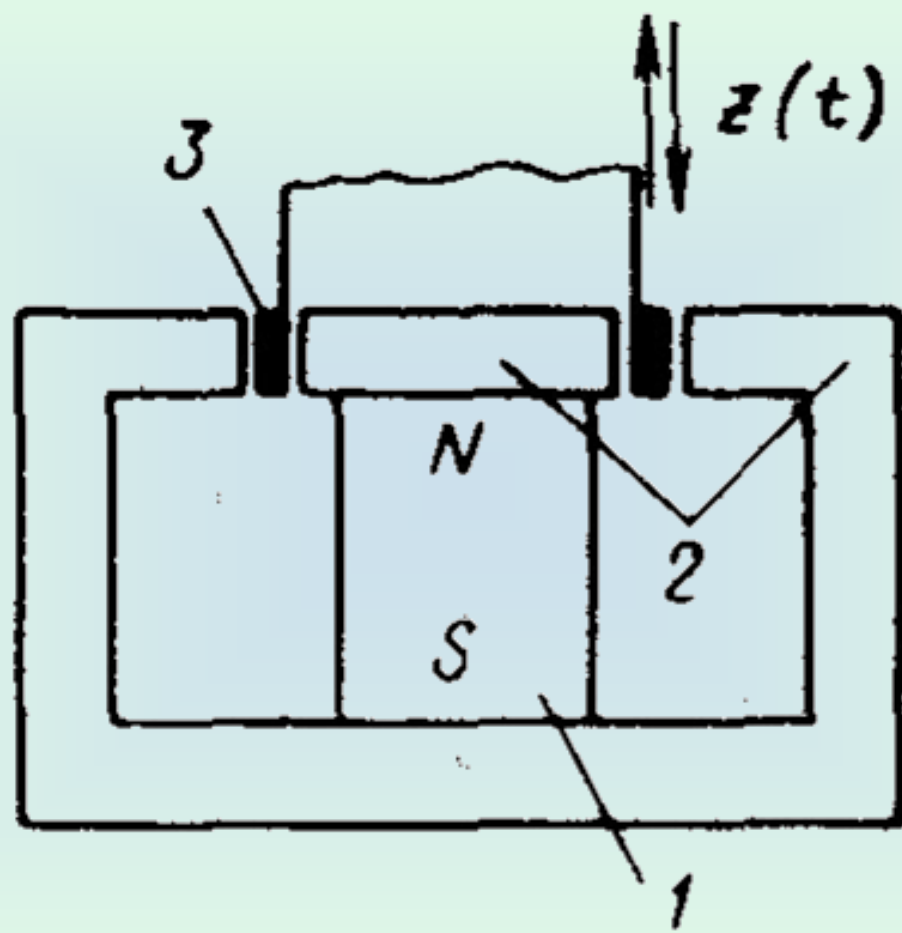


### *Их достоинства:*

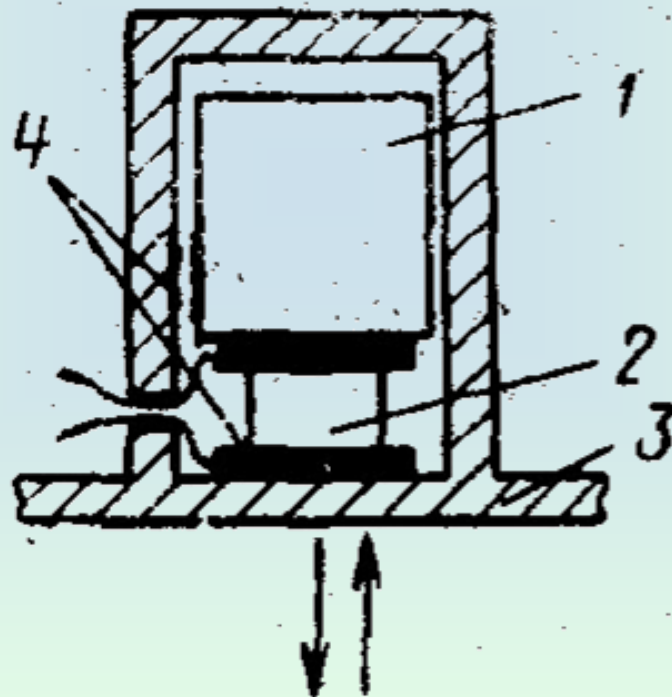
- возможность дистанционного измерения параметров вибрации;*
- одновременная регистрация вибрации во многих точках (до 100 точек одним комплектом);*
- использование для обработки измерений и анализа параметров фундаментов и грунтового основания программных комплексов, адаптированных, в том числе, с персональными ЭВМ;*
- организация предупредительной и аварийной сигнализации при достижении колебаниями предельных значений.*

*Генераторные преобразователи: в качестве примера вибродатчик (преобразователь) системы ВЭГИК и схема его электромагнитного преобразователя*



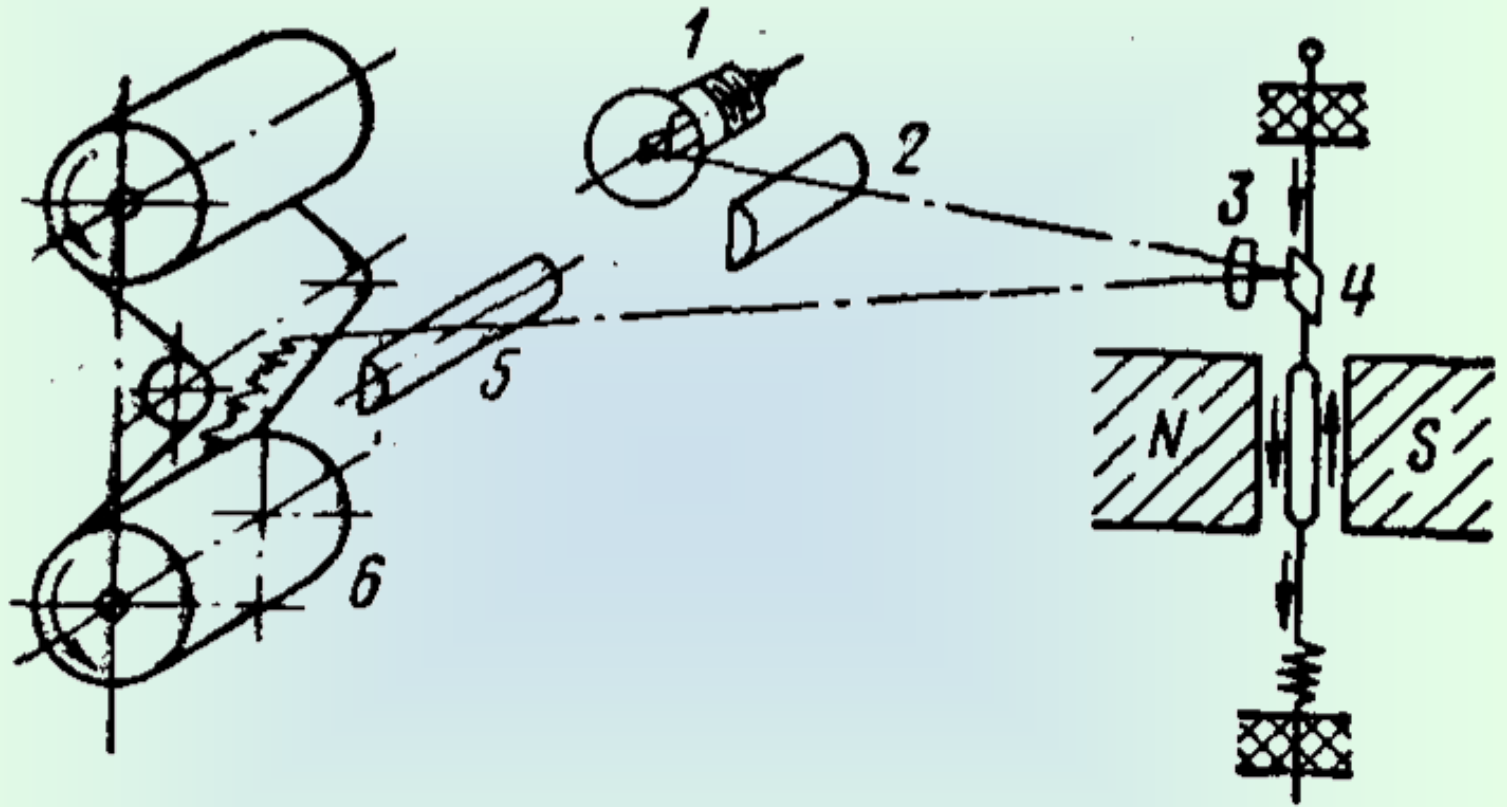


*Параметрические преобразователи: пьезоэлектрические, омического сопротивления, индуктивные и емкостные.*



*Запись электрических сигналов от преобразователей может осуществляется:*

*а) с помощью светолучевых осциллографов, что в последнее время применяется все реже;*



*или*

*б) через преобразователи аналоговых сигналов в цифровом виде непосредственно в память ЭВМ. Последний способ становится доминирующим в связи с доступностью автоматизированной обработки полученных амплитудо-частотных характеристик колебаний фундаментов.*

Бесконтактные (лазерные) – приборы, позволяющие измерять амплитуды (скорости) и частоты вибрации объектов без механической связи с ними, т.е. на расстоянии. В основу положен лазерный доплеровский (Доплер) эффект. Регистрация электрического сигнала после модуляции отраженного луча лазера осуществляется по способу б) (см. выше).



# *Для примера*

## *Дальномерный виброметр RSV-150*



### Комплект поставки

- Сенсорная головка RSV-I-150 с высокоточно регулируемым переходником
- Контроллер RSV-E-150
- Соединительный кабель RSV-C-005, длина 5 м
- Футляр для хранения RSV-A-150
- Штатив VIB-A-T07 с приводным механизмом
- Плата преобразователя RSV-A-160
- Видеокабель BNC – RCA
- Руководство по эксплуатации
- Программное обеспечение Vibrometer Panel



Дополнительное оборудование:  
Система сбора данных VibSoft-20 с видео преобразователем A-CON-VIDEO USB.  
Компьютер не входит в комплект.

*Расстояние от 5 до 500 м*

*Перемещение (амплитуда) от 1 мкм до 100 мм*

*Частота от 0 до 25 кГц*

**Достоинства:**

- настройка за несколько минут;*
- измерения практически на любых поверхностях, в т.ч. недоступных или опасных для человека;*
- широкий диапазон по частотам и перемещениям.*

**Недостатки:**

- измерение в одной точки одномоментно;*
- зависимость от чистоты атмосферы (помехи: дождь, снег, туман и т.п.).*