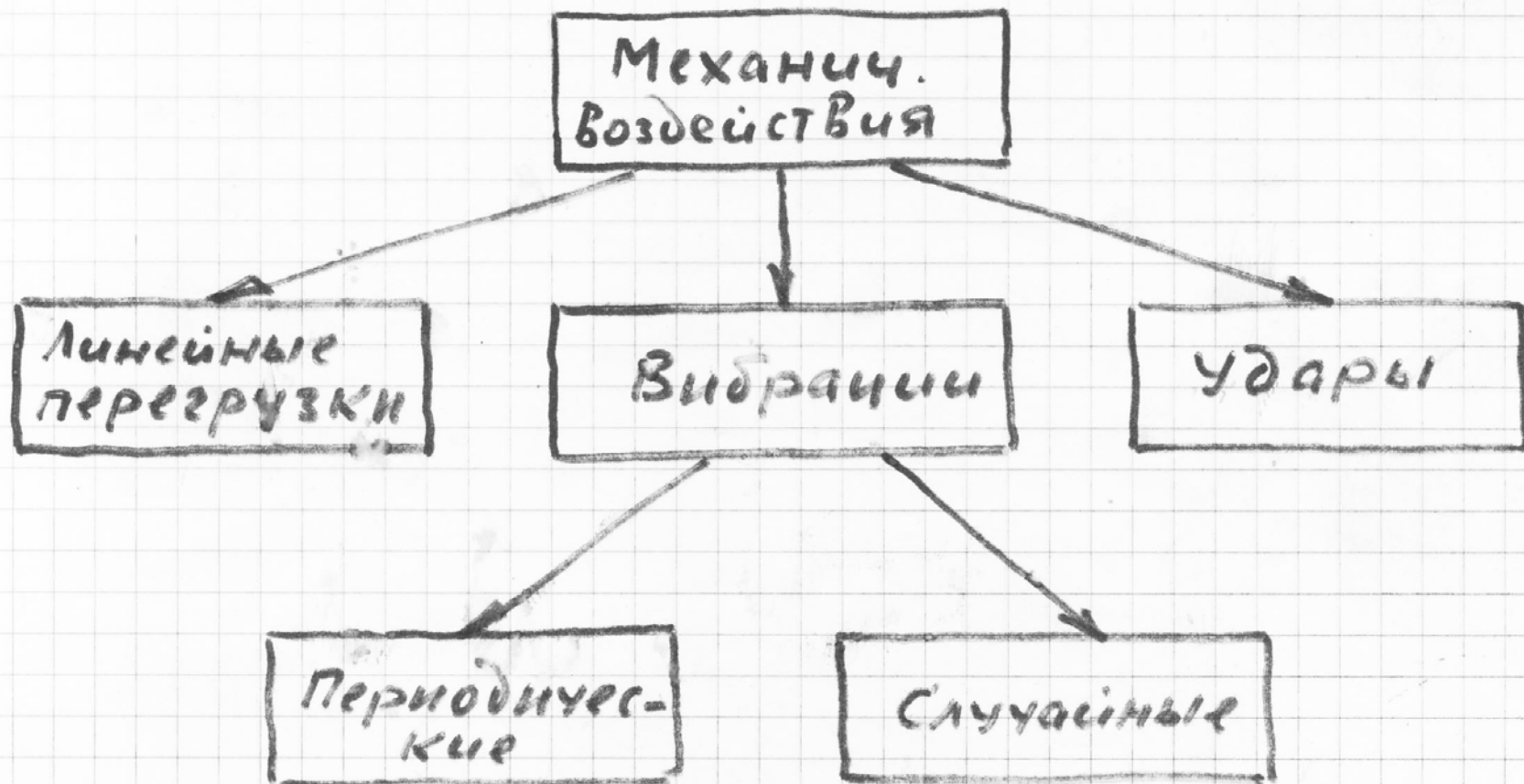


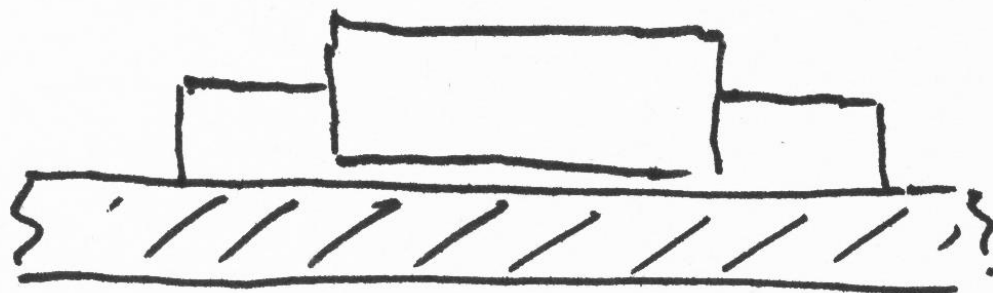
Обеспечение механической прочности



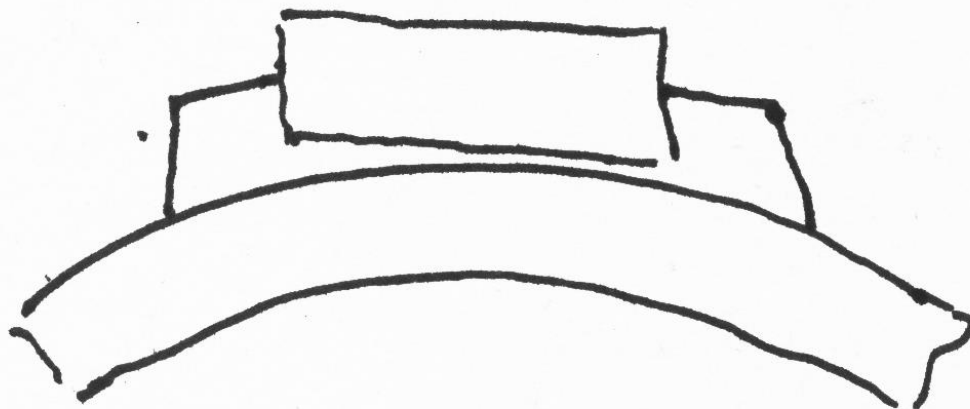
«Коварство» вибрации

- Воздействие на протяжении всего срока эксплуатации
- Возможен резонанс, в несколько раз усиливающий воздействие
- Происходит **накопление** усталостных деформаций
- При изгибе ПП наибольшее механическое напряжение и деформация в наружных слоях-там, где печатные проводники и ЭРЭ и их выводы.

a)



b)



Задачи обеспечения вибропрочности

- Не допустить механический резонанс

$$F_0 \gg F_{\text{внешн}}$$

$$F_0 > F_{\text{макс.внеш}}$$

- При многократном изгибе ПП проводники и выводы ЭРЭ не должны разрушаться.

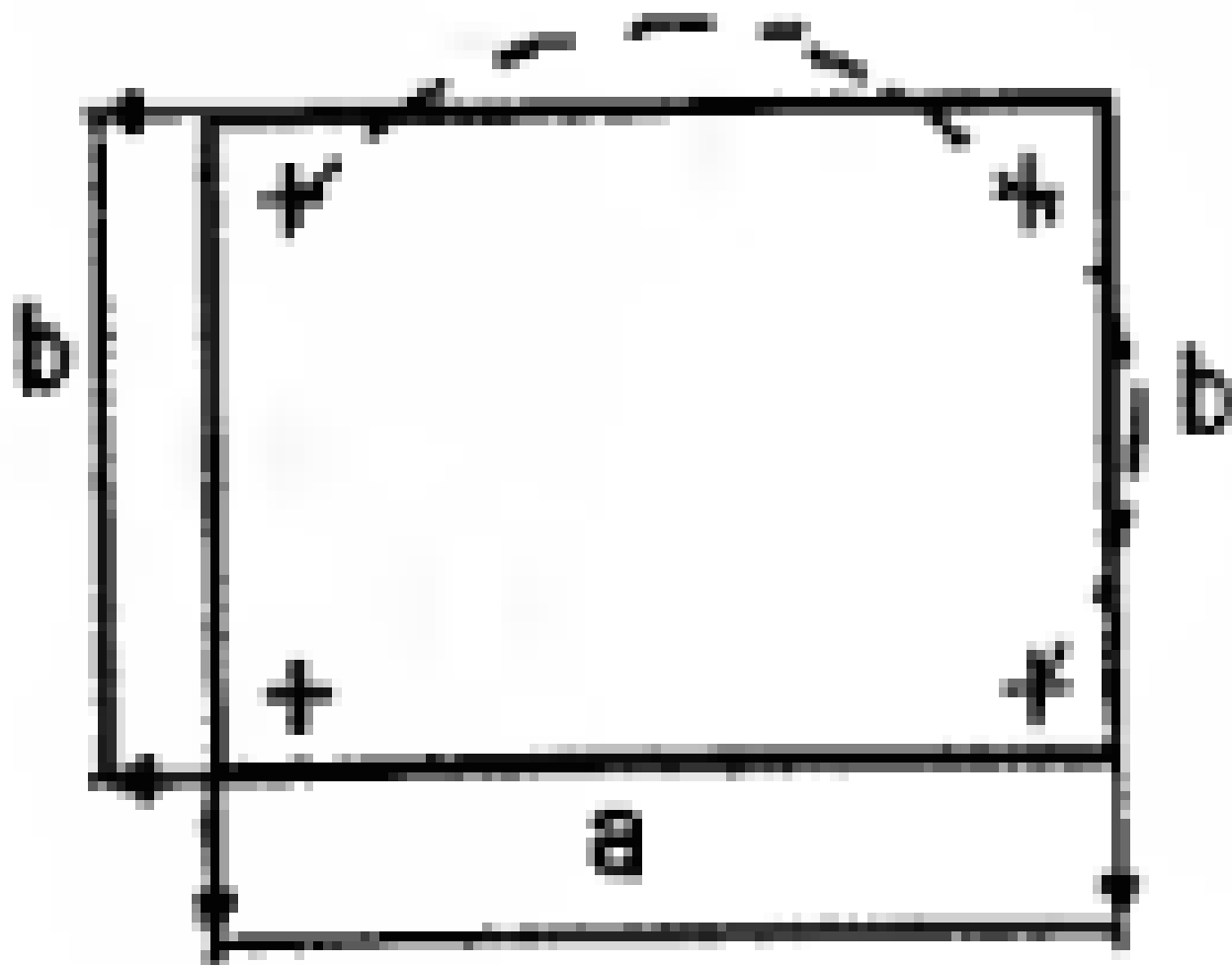
Реальный прогиб д.б меньше допустимого

$$Z_p < Z_{\text{доп}}$$

Допустимая для ПП перегрузка больше чем перегрузка при эксплуатации по ТЗ

$$n_{\text{тз}} < n_{\text{доп}}$$

- Учёный Релей исследовал колебания прямоугольной стальной пластины с разным соотношением сторон и разным закреплением
- Модель:
 - Прямоугольная однородная пластина
 - Равномерное распределение массы



Приближенные методы расчета f_0 пластин.

Метод Рэлея:

$$f_{01} = \frac{\alpha_1}{2\pi a^2} \sqrt{\frac{D}{m_2 + m_0}}$$

Метод Ритца:

$$f_{0i} = \frac{\alpha_i}{2\pi a^2} \sqrt{\frac{D}{m_0}} K_{\alpha}$$

$$K_{\alpha} = 1 / \sqrt{1 + m_{\alpha} / m_0}$$

Собственная резонансная частота

$$f_c = K_m \cdot K_{mac} \cdot \frac{ch}{a^2} \cdot 10^4$$

$$K_m = \sqrt{\frac{E_{C\Phi} \rho_c}{E_c \rho_{C\Phi}}}$$

$$K_{mac} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{M_3}{M_\Pi}}}$$

$$A = S \cdot \sin(2 \pi \cdot f)$$

$$V = 2\pi \cdot f \cdot S; \quad a = 2\pi \cdot f \cdot V = (2\pi \cdot f)^2 \cdot S; \quad n = a/g;$$

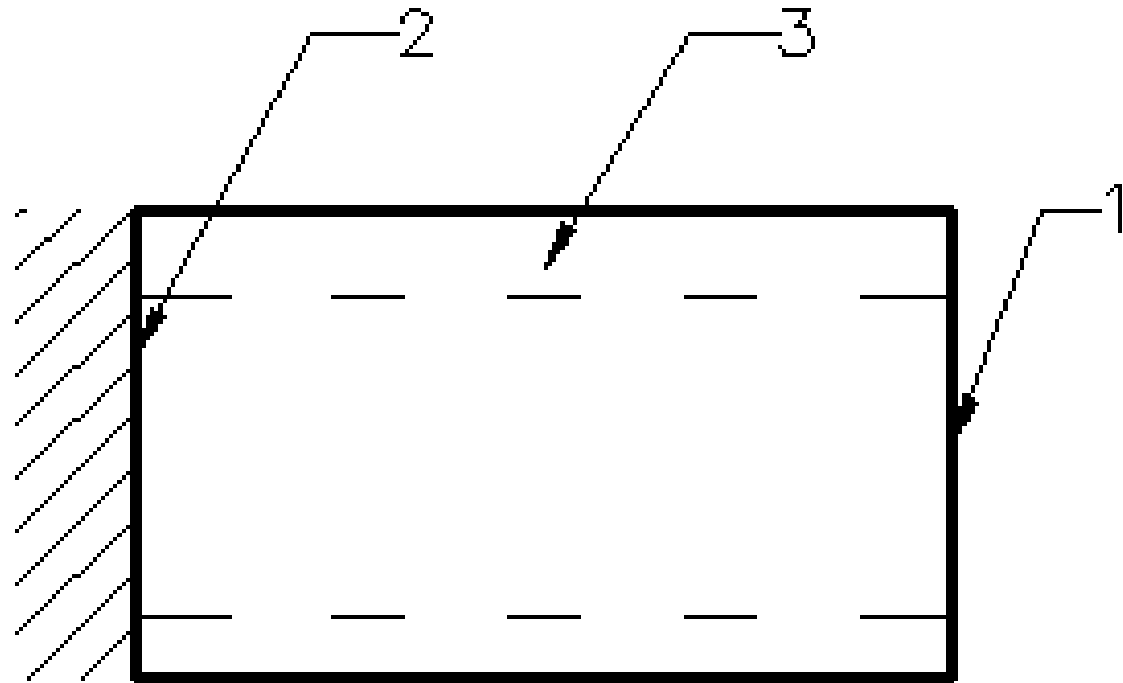
Параметры материалов

Марка материала	Плотность, ρ , г/см ³	Модуль упругости, $E \cdot 10^6$, Н/см ²	Коэффициент Пуассона, μ
СТЭФ	2,47	3,3	0,279
СТЭ	1,98	3,5	0,21
НФД	2,32	3,45	0,23
СФ	1,85	3,02	0,22
Сталь 20	7,82	22	0,25

Плотность фольгированного стеклотекстолита СФ-2-50 от толщины:

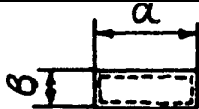
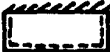
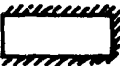
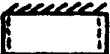
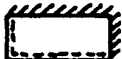
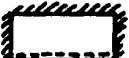
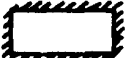
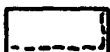
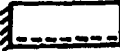
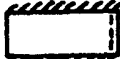
h, мм	0,5	1	1,5	2	2,5	3
ρ , г/см ³	3,34	2,47	2,18	2,03	1,94	1,89

Обозначение способов крепления



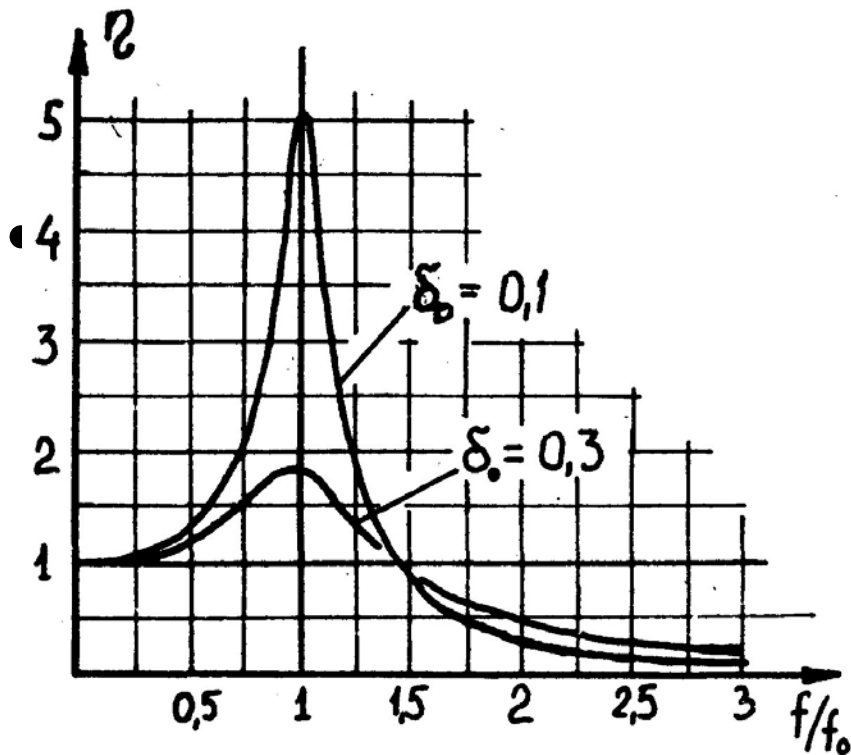
- 1- свободный край (нет закрепления)
- 2- защемление (жёсткое защемление)
- 3 опирание (свободное опирание)

Таблица 7.3

Эскиз закрепления	Коэффициенты α			Эскиз закрепления	Коэффициенты α		
	p	q	r		p	q	r
	1	2.	1		0	0,43	1
	1	2,32	2,44		0,12	0,75	5,14
	1	2,57	5,14		0,12	0,31	0,12
	2,44	2,71	2,44		5,14	0	0
	5,14	2,93	2,42		0,12	0	0
	5,14	3,13	5,14		2,44	0	0
	0	0,13	0		0,12	0,707	2,44
	0	0	1		0,12	0,2	0
	1	0	0		0	0,514	5,14
	1	2	1		0	0,83	2,44

Коэфф. передачи амплитуды при частотной расстройке

$$\frac{|S_1|}{|S_0|} = \frac{|a_1|}{|a_0|} = \eta = \frac{\sqrt{1 + 4\delta_0^2 (f/f_0)^2}}{\sqrt{(1 - (f/f_0)^2)^2 + 4\delta_0^2 (f/f_0)^2}}$$

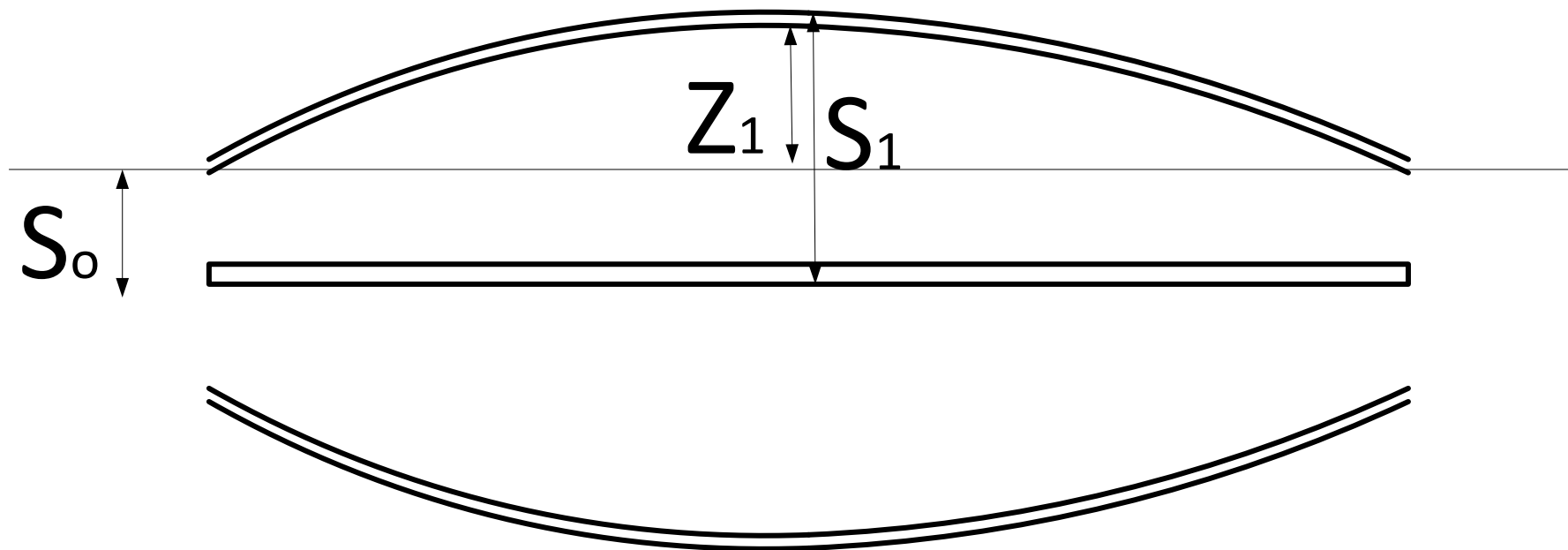


S_0 - амплитуда блока =края платы

S_1 - амплитуда центра платы

δ_0 - коэф демпфирования

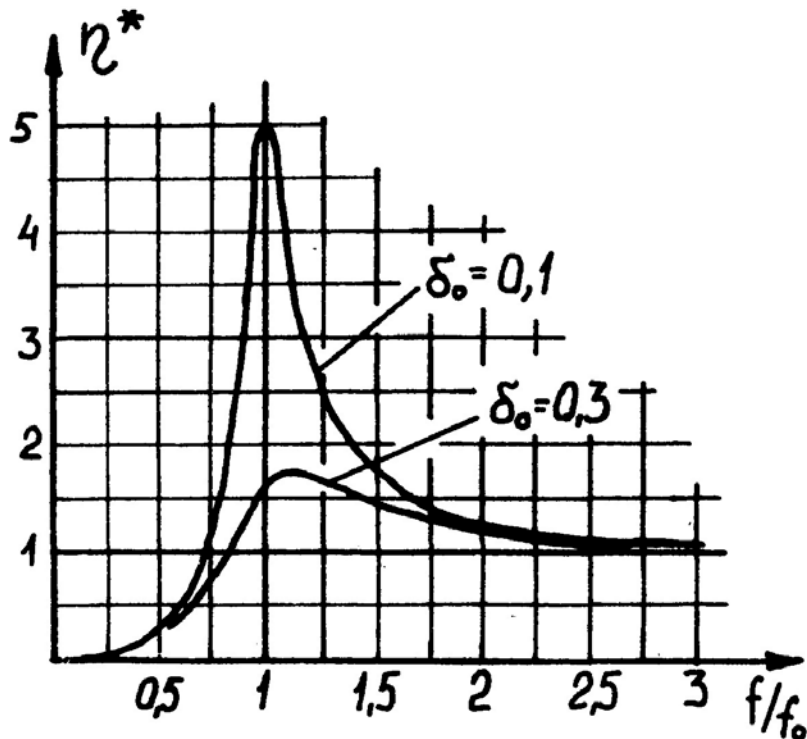
Прогиб



$$Z = S_1 - S_0 \text{ прогиб}$$

Коэфф передачи прогиба

$$\frac{|S_1 - S_0|}{|S_0|} = \eta^* = \frac{(f/f_0)^2}{\sqrt{(1 - (f/f_0)^2)^2 + 4\delta_0^2 (f/f_0)^2}}$$



При резонансе:

$$\eta_{\delta} \approx \eta_{\delta}^* \approx \frac{1}{2\delta_0}$$

δ_0 - коэф демпфирования

коэф. динамичности $\mu = 1/2 \delta_0$

для ПП $\mu = 5-12$

керамика $\mu = 25..50$

ФЯ с металич рамками $\mu = 10....25$

дно блока пенального типа $\mu = 20....40$

Стрела прогиба- удельный прогиб -параметр кривизны

Толщина листа, мм	Допустимая стрела прогиба на 1 м длины, мм/м ²			
	одностороннее фольгирование		двухстороннее фольгирование	
	гетинакс	стеклотек столит	гетинакс	стеклотек столит
0,8; 1,0	109	109	55	22
1,5	55	30	27	11
2,0	40	25	20	11
2,5; 3,0	30	15	15	11

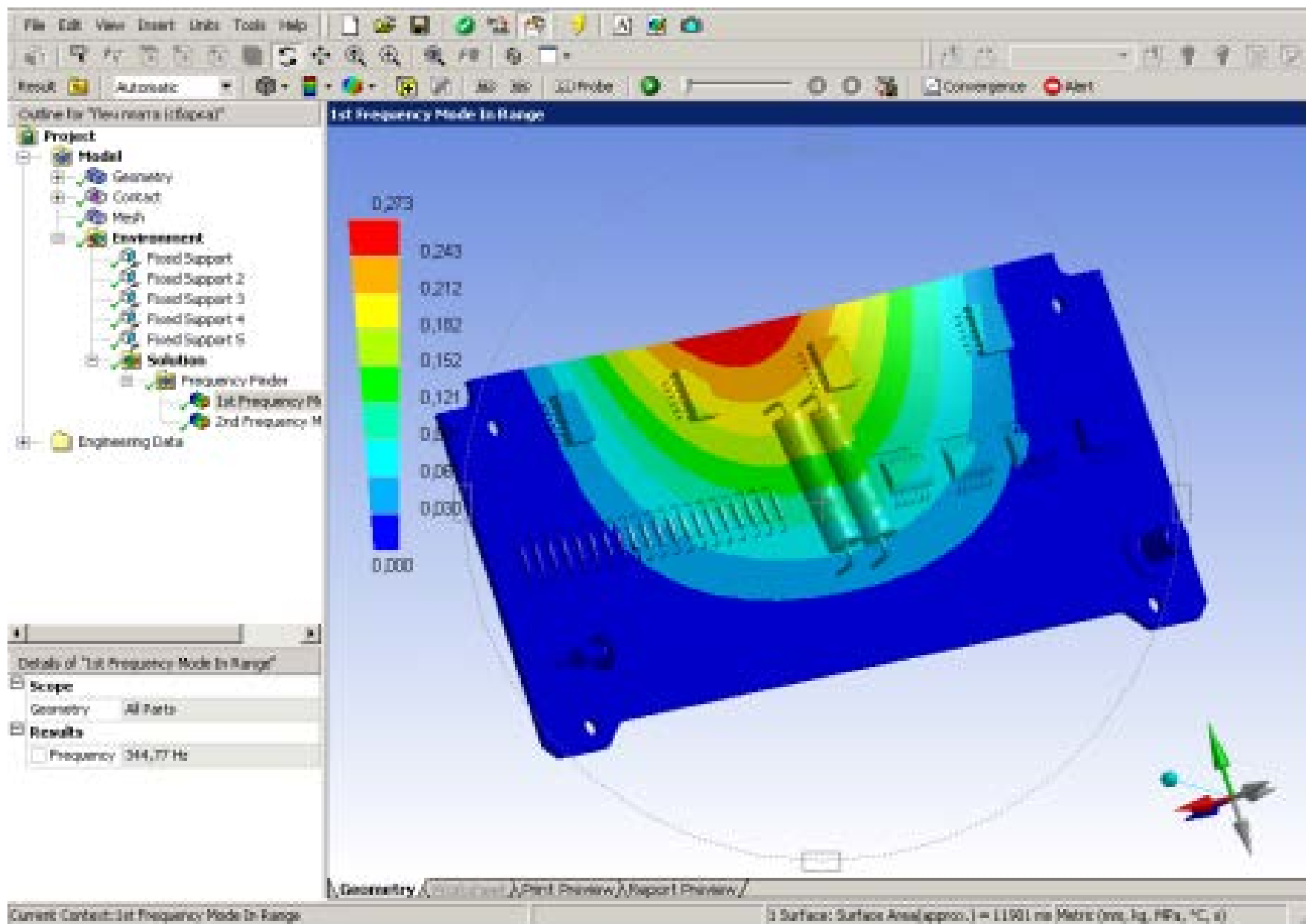
Прогиб

- $Z_{доп} = \delta * L^2$ [мм]
- δ - стрела прогиба [мм/м²]
- L - меньшая сторона [м]
- $a = n * g$; $Z = S_1 - S_0$
- $Z_{реальн} = \mu a / (2\pi \cdot f_o)^2$ *при резонансе $f = f_o$*
- $Z_{реальн} = \eta^* \cdot a / (2\pi \cdot f)^2$ *при частоте f*
Должно $Z_p < Z_{доп}$

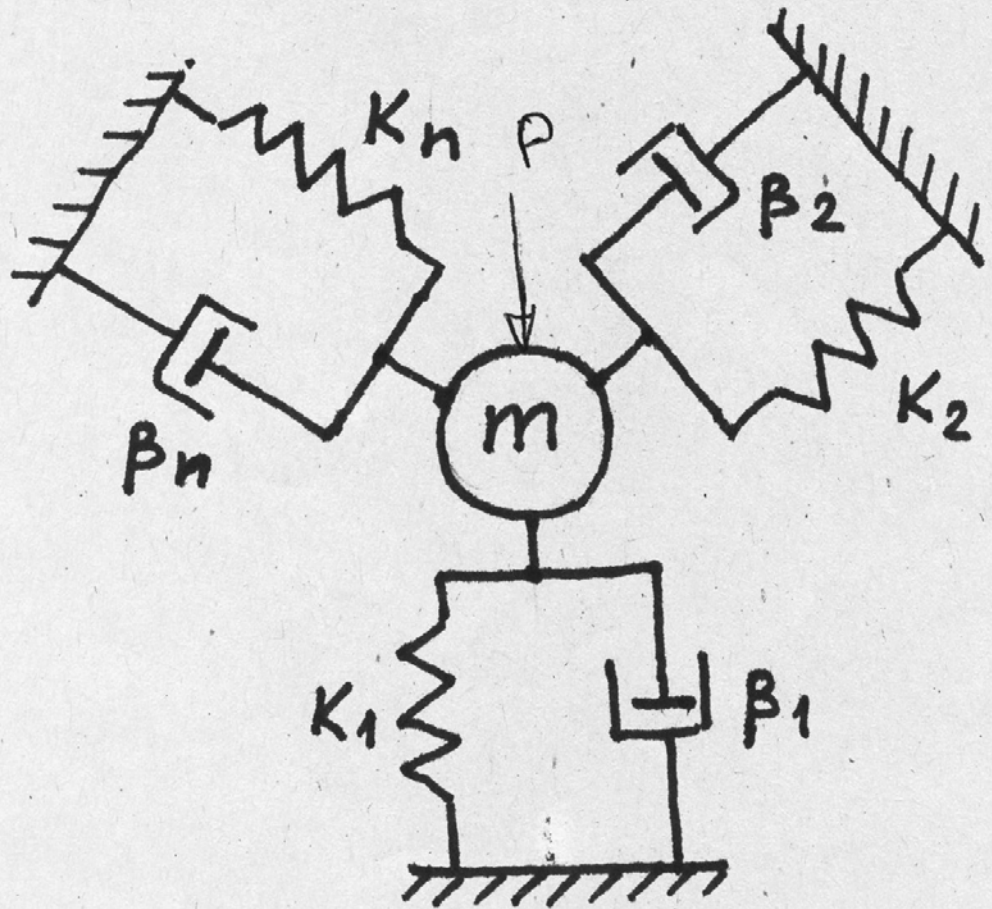
Коэф. перегрузки

- $n = a/g$ $n_{ТЗ} = a_{ТЗ}/g$
- $n_{доп} = (2\pi \cdot f_o)^2 \cdot Z_{доп} / \mu g$ при резонансе $f = f_o$
- $n_{доп} = (2\pi \cdot f)^2 \cdot Z_{доп} / \eta^* g$ при частоте f

$$n_{ТЗ} < n_{доп}$$

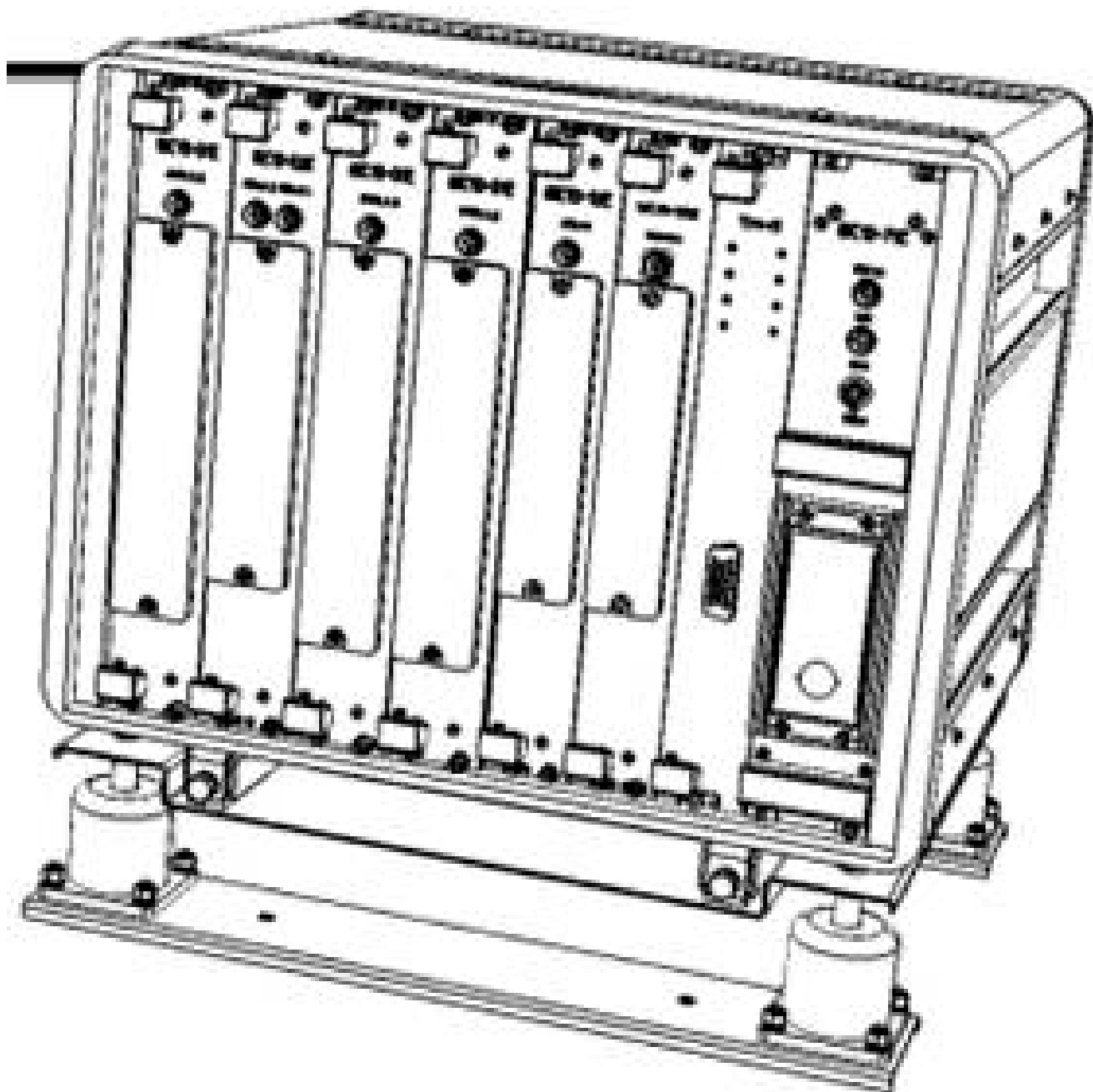


Модель механической системы с n степенями свободы



Методы улучшения вибропрочности

- Улучшить способ закрепления, доп. точки
- Уменьшить размер ПП
- Увеличить толщину ПП
- Увеличить прочность ПП (металл)
- Уменьшить массу ЭБ
- Блок установить на амортизаторы
- Демпфирующие наклейки на ПП
- Заливка пенополиуретаном







Завод Инмор



