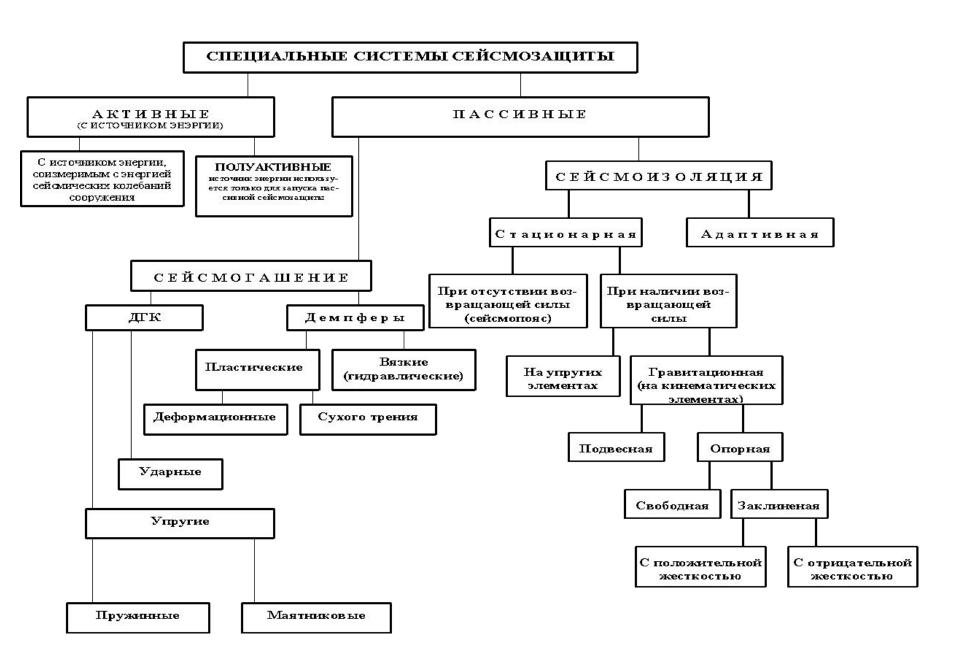
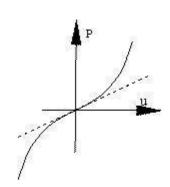
# Специальные системы сейсмозащиты зданий и сооружений. Сейсоизолирующие фундаменты

# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПРИНЦИПЫ УСТРОЙСТВА СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ

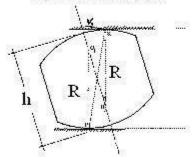
- Под сейсмоизоляцией понимается "существенное снижение сейсмического воздействия на часть сооружения, расположенную выше фундамента, путем установки каких-либо систем или элементов между частью сооружения и фундаментом" (Я.М.Айзенберг)
- Под *сейсмоизоляцией* мы будем понимать системы уменьшения энергии, передаваемой сооружению в процессе сейсмических колебаний, за счет установки в некотором уровне элементов повышенной податливости, приводящих к отстройке спектра сооружения от спектра воздействия в длиннопериодную область.
- Таким образом, любая система сейсмоизоляции должна включать три основные части: жесткую надстройку, сейсмоизолирующий элемент и поддерживающую конструкцию.
- Уже с возникновением и развитием теории сейсмостойкости (1900 1925 гг.) задаче сейсмоизоляции сооружений стало уделяться значительное внимание. Так в 1925 г. М. Вискордини описал конструкции катковых сейсмоизолирующих опор и опорных колонн со сферическими верхними и нижними торцами.
- Первый проект системы сейсмоизоляции был разработан французской корпорацией "Oil state industry" применительно к мостам. В 1959 г. в г. Ашхабаде (Туркмения) по проекту инженера Ф.Д.Зеленькова впервые был построен дом с сейсмоизолированным фундаментом. К числу первых сейсмоизолированных сооружений следует отнести и здание школы на резинометаллических опорах, построенного в г. Скопле (Югославия) по проекту швейцарских специалистов в 1968 г.



# КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ ПО ХАРАКТЕРУ ВОССТАНАВЛИВАЮЩЕЙ СИЛЫ



#### опоры назина

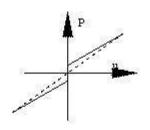


ПОЛНОЕ УРАВНЕНИЕ

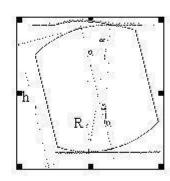
$$\ddot{\alpha}(4-4\chi\cos\alpha+\chi^2)+2\chi\dot{\alpha}^2\sin\alpha+\frac{g}{R}\chi\sin\alpha=0$$

#### ЛИНЕАРИЗОВАННОЕ УРАВНЕНИЕ

$$\ddot{\alpha} + k^2 \alpha = 0$$



#### опоры везрукова

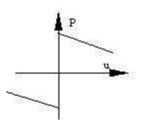


 $\ddot{\alpha}(2+\chi^{-1}-2\chi(\cos\phi-\cos\alpha)+2\cos(\phi-\alpha))+$ 

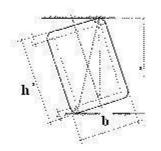
$$\begin{split} \dot{\alpha} \left[ (\chi \sin \alpha - \sin(\phi - \alpha)) + \frac{g}{R} (\sin \alpha - \sin(\phi - \alpha)) = 0; \\ \chi = & (2R - h) / R \end{split}$$

#### ЛИНЕАРИЗОВАННОЕ УРАВНЕНИЕ

$$\chi = 2$$
,  $-4\chi \ddot{\alpha} + k_6^2 \chi \alpha = 0$ 



ОПОРЫ КУРЗАНОВА ОПОРЫ ЧЕРЕПИНСКОГО ОПОРЫ НЕЙБУРГА



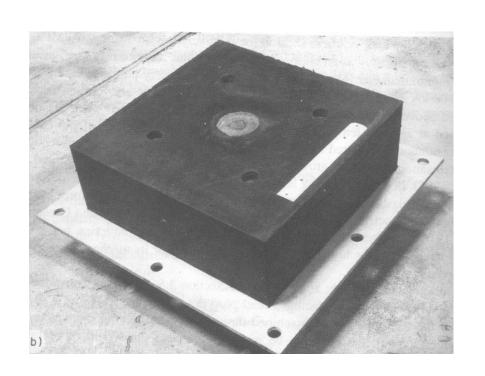
$$\begin{split} &\dot{\alpha}_{1}1+\beta^{2}+4\nu\left(\nu+\cos\alpha+\beta\sin\alpha\right)_{1}+2\nu\dot{\alpha}^{2}\left(\beta\cos\alpha-\sin\alpha\right)+\\ &+\frac{g}{p}\left(\beta\cos\alpha-\sin\alpha\right)_{2}ign\alpha=0; \qquad \beta=b-\frac{2r}{r}; \qquad \nu=\frac{r}{r}\;. \end{split}$$

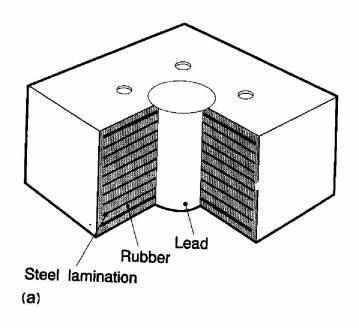
#### УКОРОЧЕННОЕ УРАВНЕНИЕ

$$\ddot{\alpha} - k^2 \alpha \cdot sign \alpha = 0$$

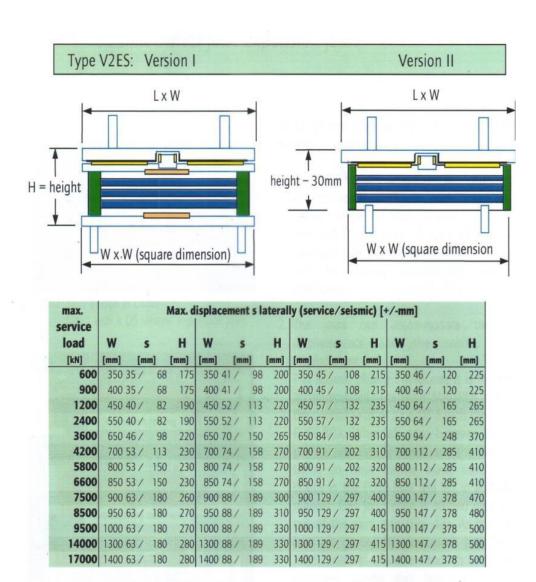
# ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ СЕЙСМОИЗОЛИРУЮЩИХ ОПОРНЫХ ЧАСТЕЙ

#### РЕЗИНОВЫЕ ОПОРНЫЕ ЧАСТИ (РОЧ)





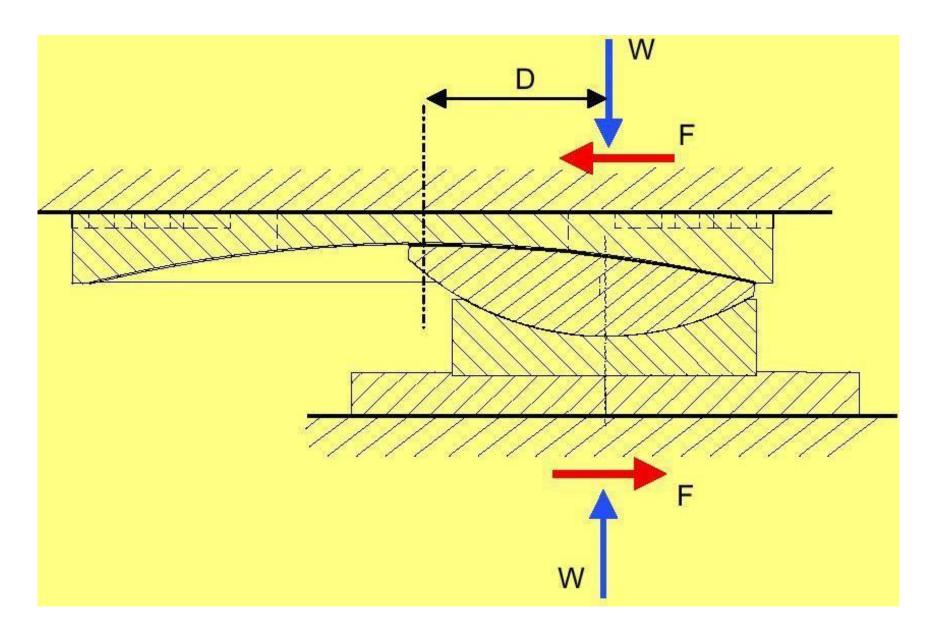
#### РОЧ ФИРМЫ MAURER SÖHNES



### НЕКОТОРЫЕ ТИПЫ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ОПОР

		US 100 100	WAX 10	
Ngs	α	Тип и схема опо- ры¤	Уравнения движения опор¤	Упрощенный вид однородных уравнений:
¶ 1¤	Опора ¶ Назина В.В.¶ ¤	4-5	$\ddot{\alpha} \left( 4 - 4\chi \cos \alpha + \chi^2 \right) + 2\chi \dot{\alpha}^2 \sin \alpha + \frac{g}{R} \chi \sin \alpha = 0  $ $\chi = 2 - h / R \approx$	$\bar{\alpha} + k_1^2 \alpha = 0; \qquad k^2 = k^2 t_0^2; \qquad \tau = t/t_0 \alpha$
¶ 20	Опора:¶ Найбурга Э.В.¶ ¤		$\ddot{\alpha} \left( 4 + 4\chi \cos \alpha + \chi^2 \right) + 2\chi \dot{\alpha}^2 \sin \alpha + \frac{g}{r} \chi \cos \alpha \sin \alpha = 0  \P$ $\chi = b / r_{\varpi}$	$\ddot{\alpha} + k_2^2 1.3 \left(\mu^{3/2} \alpha\right)^{1/21} = 0  \alpha$
¶ 3¤	Опора¶ Курзанова А.М.¶ ≈	h a	$\begin{split} \ddot{\alpha} \left(1 + \beta^2 + 4\nu (\nu + \cos\alpha + \beta \sin\alpha)\right) + 2\nu \dot{\alpha}^2 (\beta \cos\alpha - \sin\alpha) + \\ + \frac{g}{R} \left(\beta \cos\alpha - \sin\alpha\right) \text{sign}\alpha = 0; \qquad \beta = b - \frac{2r}{h}; \qquad \nu = \frac{r}{h}. \end{split}$	$\ddot{\alpha} + k_3^2 1.3 \left(\mu^{3/2} \alpha\right)^{1/21} = 0$
¶ 40	Опора•¶ "шар в лун- ке"¤	D <sub>B</sub>	$\ddot{\alpha}(2+2\cos\alpha) - \dot{\alpha}^2\sin\alpha + \frac{g}{r}(\chi - 1)\sin\alpha = 0  \P$ $\chi = R / r  \alpha$	$\mathbf{\tilde{a}} + \mathbf{k}_4^2 \mathbf{\alpha} = 0 \mathbf{x}$
	)пора·"шар·в вух·лунках":	4	$\bar{\alpha} + \frac{g}{2R} \left( 1 - \frac{r}{R} \right) \sin \alpha = 0_{\alpha}$	$ \ddot{\alpha} + k_5^2 \alpha = 0_{ \text{\tiny $\Omega$}} $
¶ 6¤	Опора•¶ Безрукова Ю.И¤	h h	$ \begin{array}{llllllllllllllllllllllllllllllllllll$	
¶ 70 !	Опора¶ Јерепинско- го∙Ю.Д.¤	R h	$\begin{split} \ddot{\alpha} \Big(1 + \mu_1^2 + \chi^2 + 2\chi\cos\alpha + 2\mu_1\sin\alpha\Big) + \frac{\dot{\alpha}^2}{2} \Big(-2\chi\sin\alpha + 2\mu_1\cos\alpha\Big) + \\ + \frac{\varepsilon}{R} \Big(-\chi\sin\alpha + \mu_1\cos\alpha\sin\alpha\Big) &= 0; \qquad \mu_1 = \frac{b}{2R}; \qquad \chi = \frac{h - R}{R} \end{split}$	$\ddot{\alpha} + k_7^2 \frac{2}{\pi} \mu_1 1.3 \left(\mu^{3/2} \alpha\right)^{1/21} = 0  \P$

### ШАРОВАЯ ОПОРНАЯ ЧАСТЬ



# . ШАРОВАЯ ОПОРА, ПОД НАГРУЗКУ 60 КГ, ВЫПУСКАЕМАЯ ФИРМОЙ MAURER SÖHNES



# ШАРОВАЯ ОПОРА ДЛЯ МОСТА BENICIA-MARTINEZ В КАЛИФОРНИИ РАЗМЕРОМ 3.73 М С ХОДОМ $\pm 1.34$ М



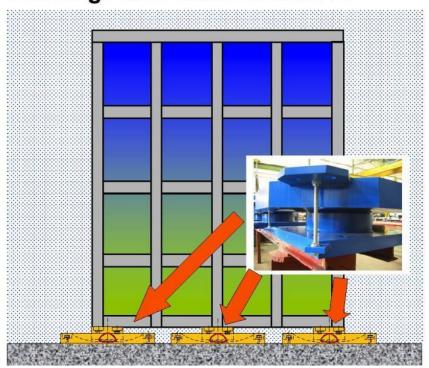
# ВНЕШНИЙ ВИД СФЕРИЧЕСКОЙ ОПОРНОЙ ЧАСТИ ФИРМЫ FIP-INDUSTRIALE

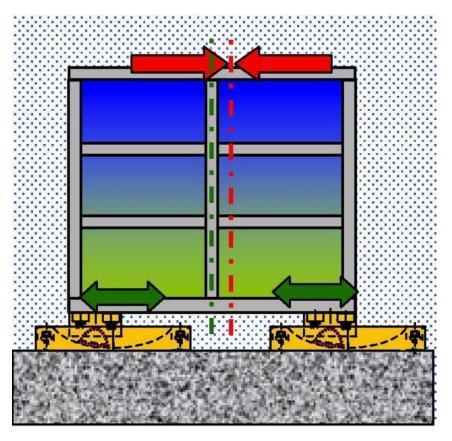


figure 3 - Isolator with Rundflon® spherical bearing and CME dissipators.

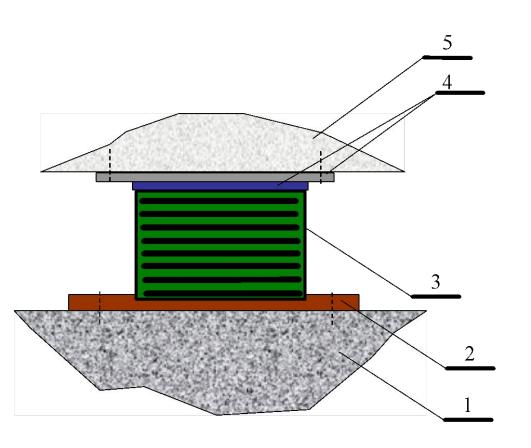
### УСТАНОВКА И СМЕЩЕНИЕ ПОД НАГРУЗКОЙ СФЕРИЧЕСКИХ ОПОРНЫХ ЧАСТЕЙ

MAURER Premium Seismic Isolation with Spherical Sliding Isolators for Buildings and Tank Structures





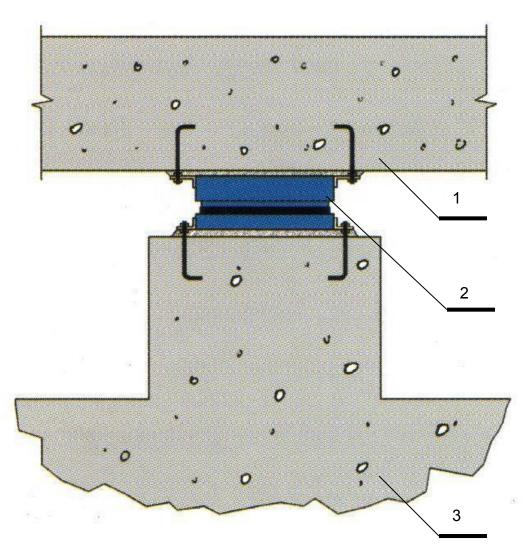
# СКОЛЬЗЯЩАЯ ОПОРНАЯ ЧАСТЬ ФИРМЫ ELECTRICITY DE FRANCE



- 1. Нижняя фундаментная плита
- 2. Опорный лист
- 3. PO4
- 4. Фрикционная пара «нержавеющая стальсвинцовистая бронза»
- 5. Верхняя фундаментная плита

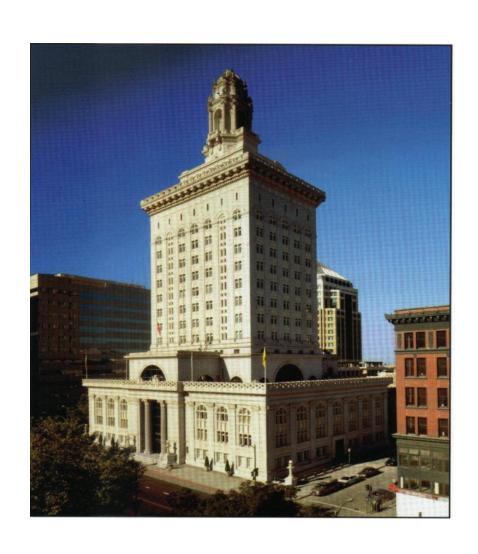
### СХЕМА УСТАНОВКИ СЕЙСМОИЗОЛИРУЮЩИХ

#### ЭЛЕМЕНТОВ

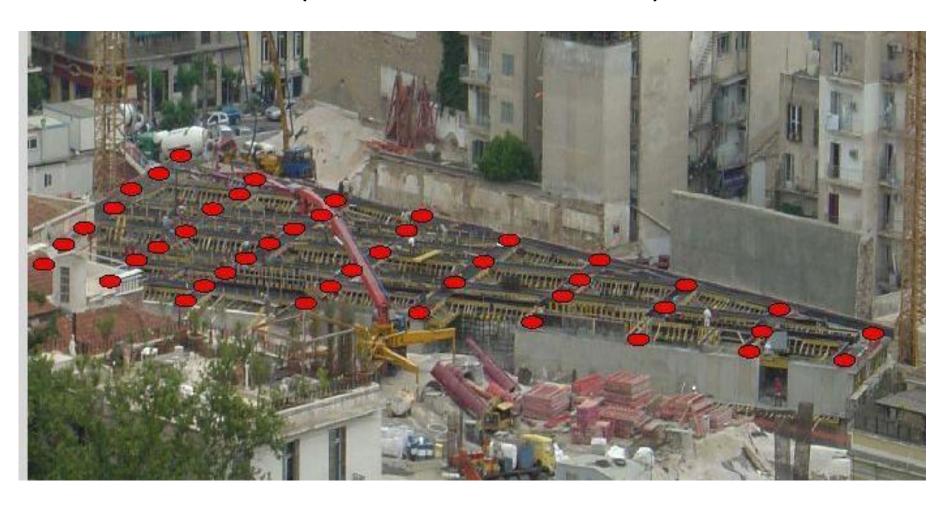


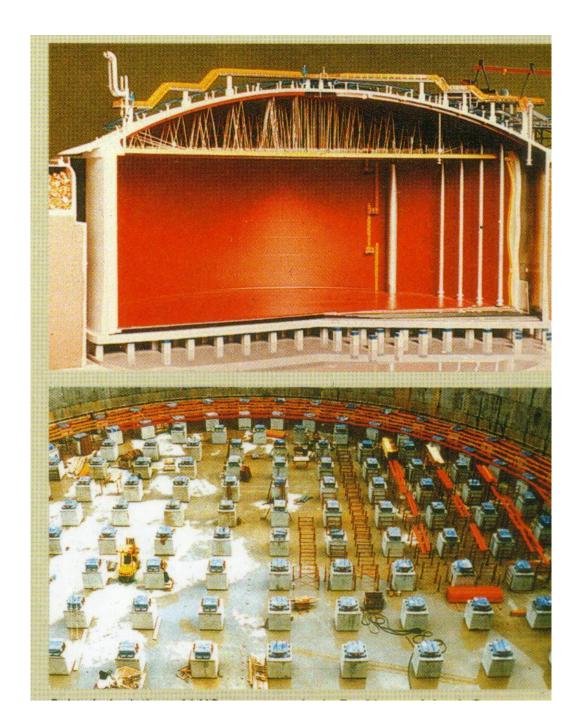
- 1 верхняя фундаментная плита;
- 2 сейсмоизолирующая опора;
- 3 нижняя фундаментная плита

# ОДНО ИЗ ПЕРВЫХ СЕЙСМОИЗОЛИРОВАННЫХ ЗДАНИЙ В Г. ОКЛЕНД (США)



# СХЕМА РАССТАНОВКИ СЕЙСМОИЗОЛИРУЮЩИХ ОПОРНЫХ ЧАСТЕЙ (ШАРОВЫХ ОПОР) В МУЗЕЕ АКРОПОЛИС В ГРЕЦИИ (ФИРМА MAURER SÖHNES)

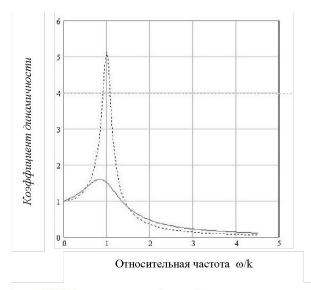




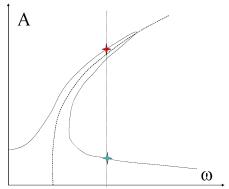
СЕЙСМОИЗОЛЯ-ЦИЯ РЕЗЕРВУАРА НА ОСТРОВЕ REVITHOUSA В ГРЕЦИИ

# ОСНОВНАЯ КОНЦЕПЦИЯ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ СООРУЖЕНИЙ

- В первых работах по сейсмоизоляции им виброизоляции ошибочно считалось, что сейсмоизоляция должна быть слабодемпфирована. Это заблуждение связано с тем, что АЧХ сейсмической реакции линейной демпфированной системы в зоне виброизоляции поднимается с увеличением демпфирования.
- Ссылаясь на указанный эффект многие авторы стремились запроектировать слабодемпфированную сейсмоизоляцию. Последствия такого решения привели к многочисленным авариям и человеческим жертвам. Детальный анализ работы виброизоляции был дан профессором М.З. Коловским, а для задач сейсмоизоляции профессором О.А.Савиновым.
- Сторонники слабодемпфированной сейсмоизоляции обращали внимания не на смещения сейсмоизолированной Эти системы. смешения достигают 30-50 см и приводят к сбросу сооружения с сейсмоизолирующих опор. Кроме того, при больших смешениях колебания системы нелинейными и АЧХ – многозначной (Рис.3). Повышение демпфирования ведет как к снижению системы, смещений так К исключению многозначных ветвей АЧХ. В связи с этим передемпфировать систему всегда лучше, чем недодемпфировать, хотя ускорения системы при этом возрастут.

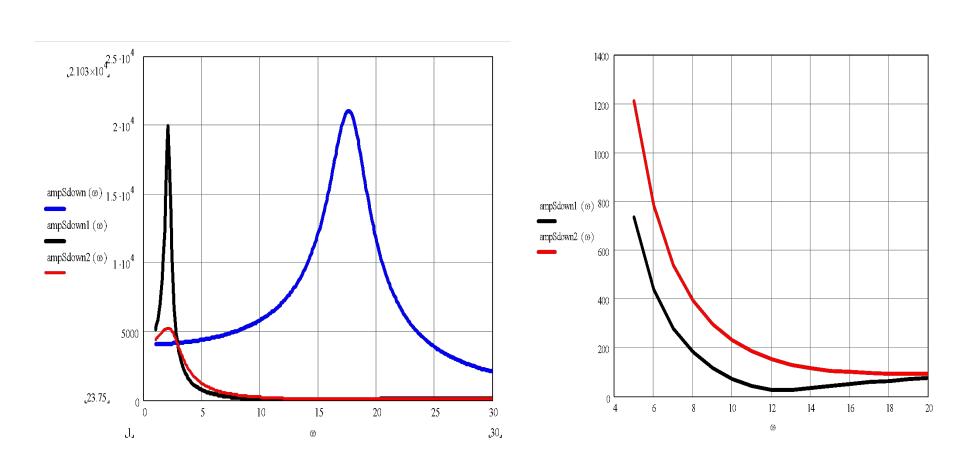


AЧX для реакции демпфированного осциллятора сплошная кривая -  $\gamma$ =0.9; пунктир -  $\gamma$ =0.2



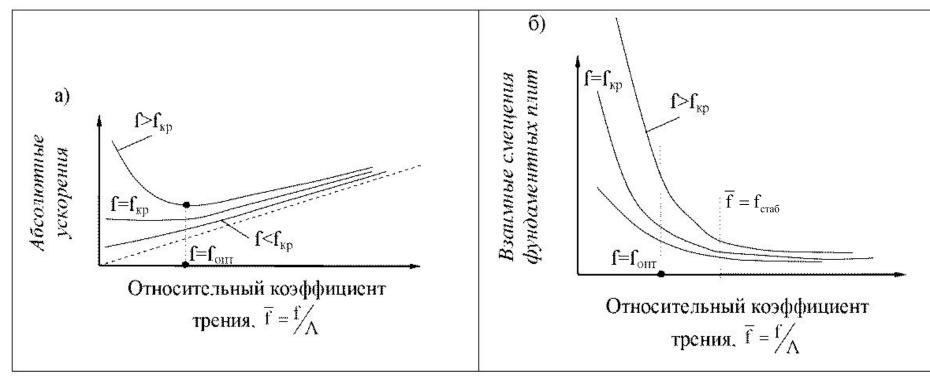
# ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПЕРЕДЕМПФИРОВАНИЯ СИСТЕМ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ

#### ВЯЗКОЕ ДЕМПФИРОВАНИЕ



# ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПЕРЕДЕМПФИРОВАНИЯ СИСТЕМ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ

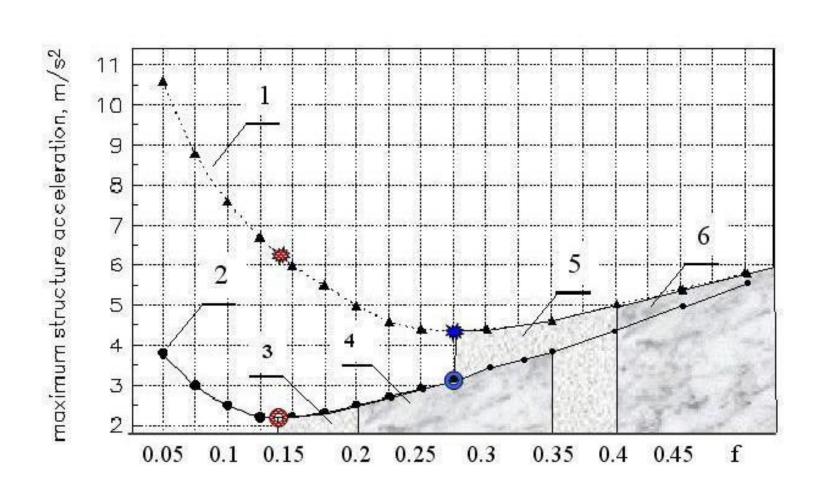
#### СУХОЕ ТРЕНИЕ



Puc.2. Зависимости абсолютного ускорения и взаимного смещения фундаментных плит сейсмоизолирующего фундамента от относительного коэффициента трения  $\overline{\mathbf{f}} = \mathbf{f}/\mathbf{A}$  (A- ускорение основания в долях ускорения силы тяжести  $\underline{\mathbf{n}}$ )

# ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПЕРЕДЕМПФИРОВАНИЯ СИСТЕМ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ

#### • СУХОЕ ТРЕНИЕ



# ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПЕРЕЛЕМПФИРОВАНИЯ СИСТЕМ СЕЙСМОИЗОЛЯШИИ

Сейсмоизолирующий скользящий пояс

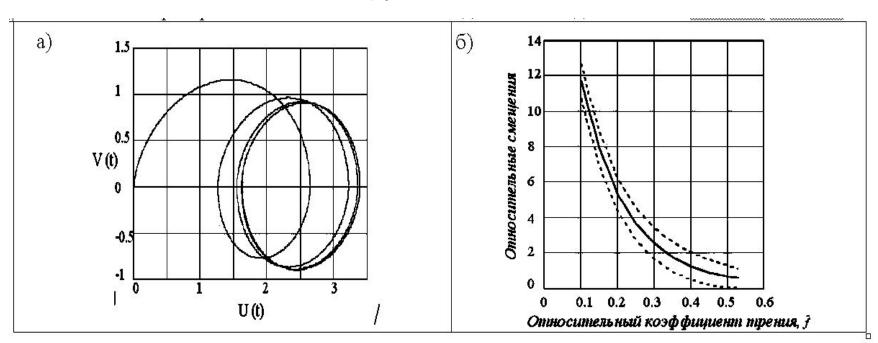
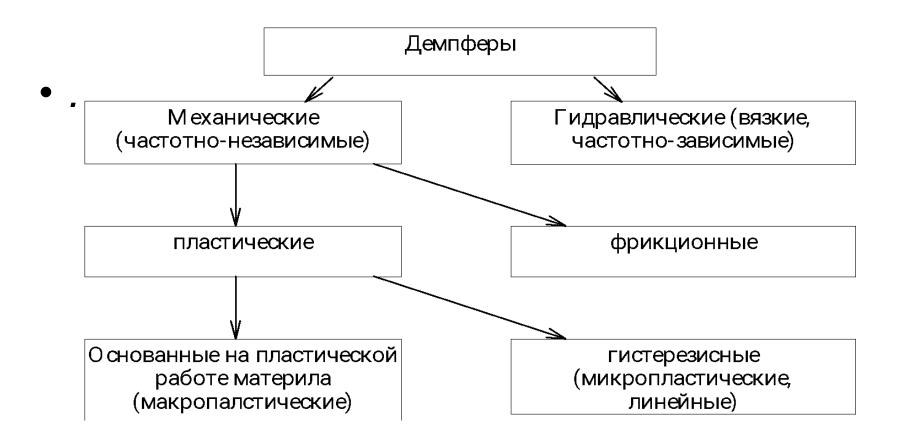
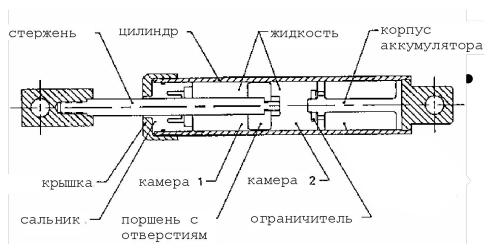


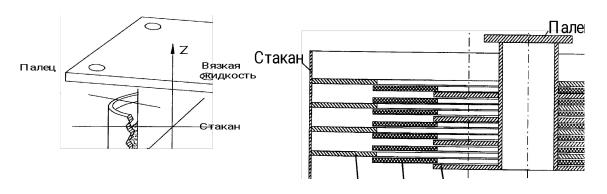
Рис. 3. Траектория движения здания с сейсмоизолирующим скользящим фундаментом на фазовой плоскости (а) и зависимость перемещений здания от относительного коэффициента трения (б); сплошная линия — односторонний унос, пунктир — амплитуда вибраций



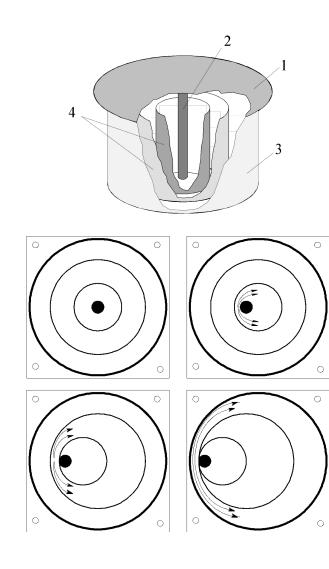
ВЯЗКИЕ ДЕМПФЕРЫ



#### Горизонтальный вязкий демпфер

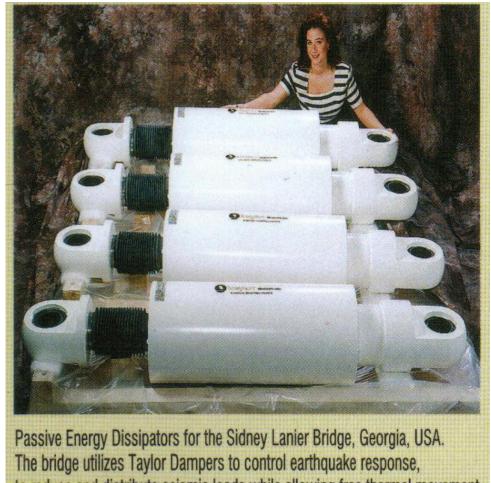


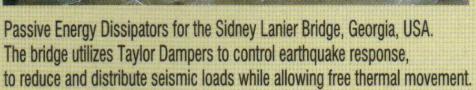
. Вязкие демпферы фирмы Gerb стандартный и с телескопическими дисками



Вязкие демпферы фирмы ВИБРОСЕЙСМ

#### ВЯЗКИЕ ДЕМПФЕРЫ

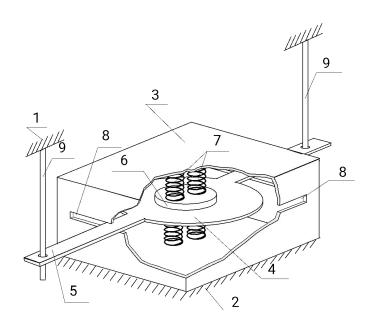




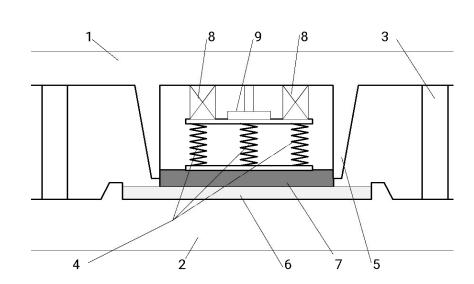




#### ДЕМПФЕРЫ СУХОГО ТРЕНИЯ

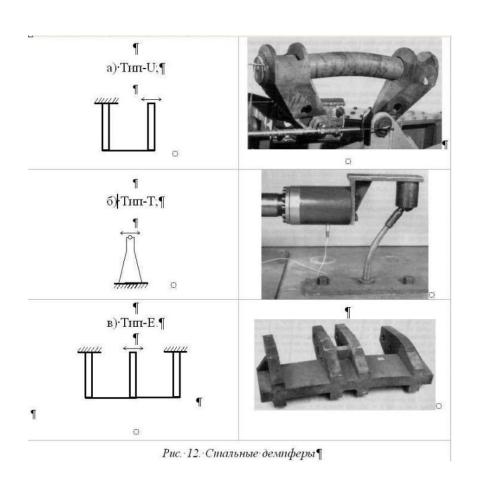


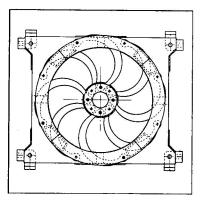
1, 2 - верхняя и нижняя фундаментные плиты; 3 - коробчатый корпус ДСТ; 4, 6 - фрикционная пара; 5- консоль внутреннего фрикционного элемента; 7 - подпружиненные упоры; 8 - прорези, обеспечивающие свободное перемещения элемента 7; 9 - стержневые элементы.

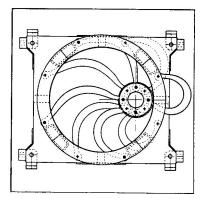


1,2-верхняя и нижняя фундаментные плиты; 3-опорный элемент; 4-пружинное устройство; 5-выступ верхней плиты; 6-фрикционный слой из сыпучего материала; 7-железобетонная плита; 8-фиксаторы положения; 9-место установки домкрата

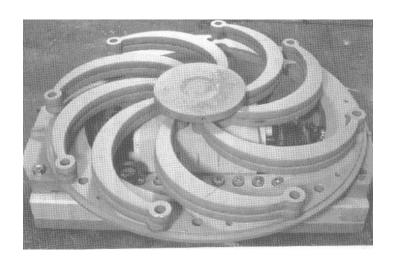
# **ДЕМПФИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА** ДЕМПФЕРЫ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТИПА



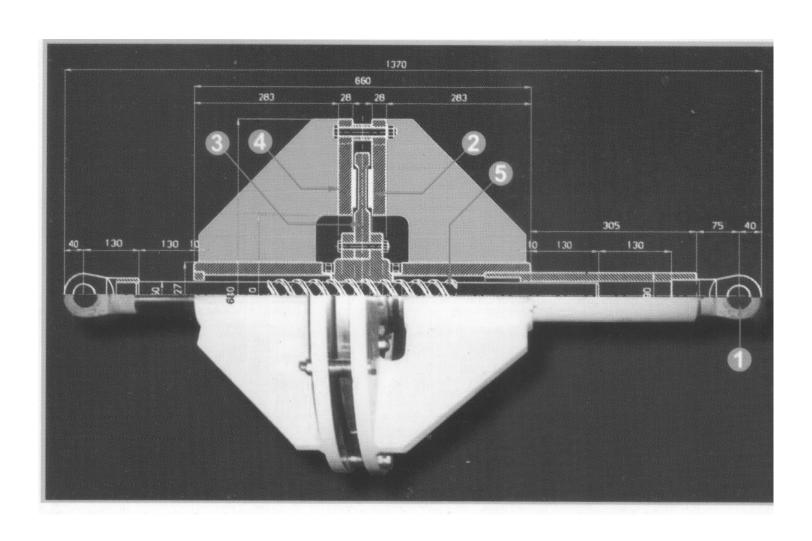




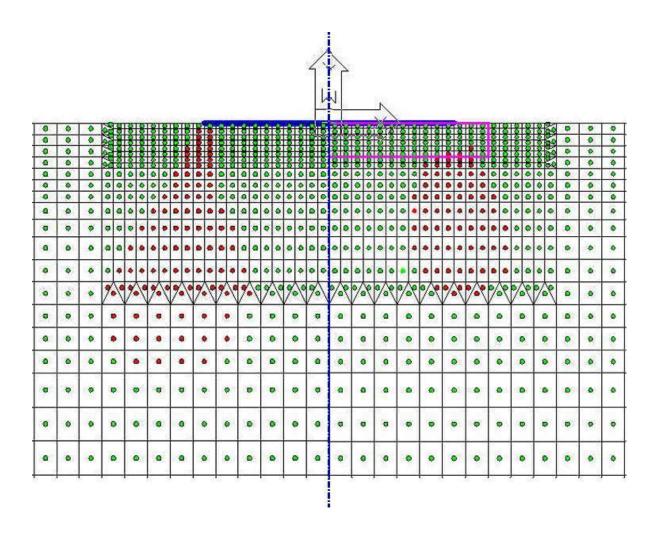
Упруго-пластический демпфер (Италия): в положении равновесия и при максимальном смещении



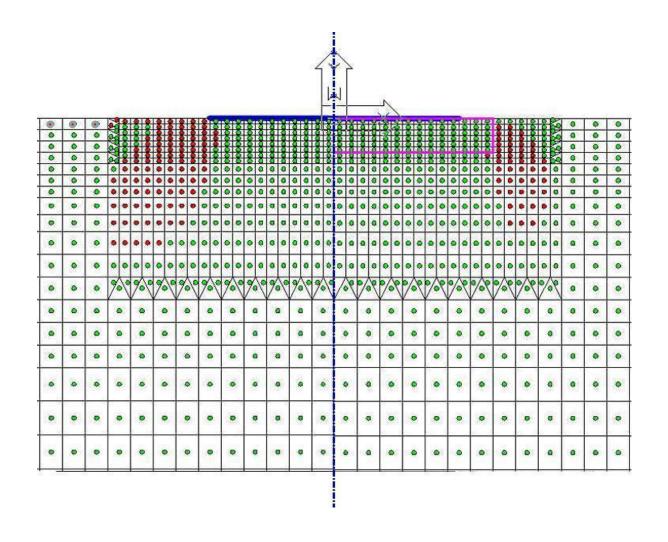
### ЭЛЕКТОРОМАГНИТНОЕ ДЕМПФИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ФИРМЫ «АЛГА»

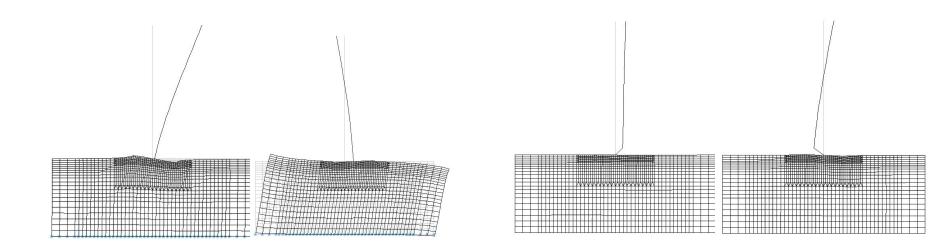


Зона предельного равновесия слева – без подушки, справа – с подушкой



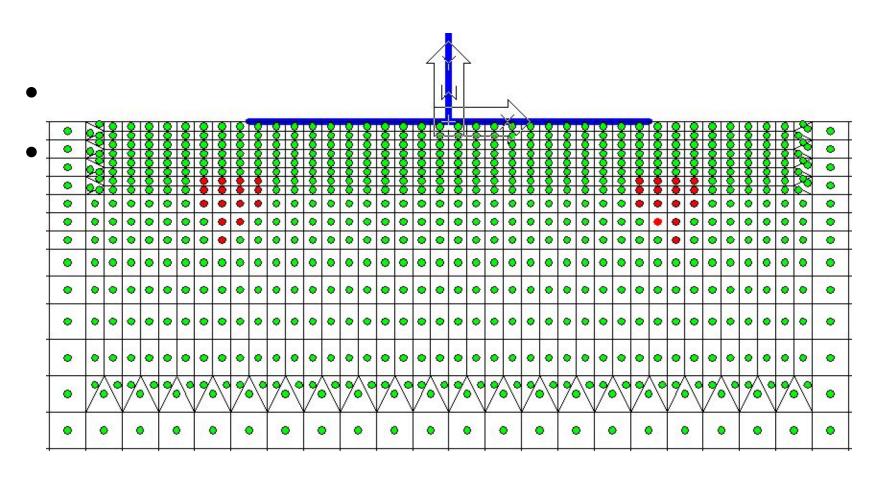
Зона разжижения слева – без подушки, справа – с подушкой





Первые две формы колебаний для обычного (слева) и сейсмоизолированного (справа) зданий на грунтовой подушке толщиной 3 м

• Зоны предельного состояния массива для сейсмического воздействия силой 9 баллов для здания с 3-метровой подушкой, с изоляцией



Зоны предельного состояния массива для сейсмического воздействия силой 9 баллов для здания с 3-метровой подушкой, с изоляцией

