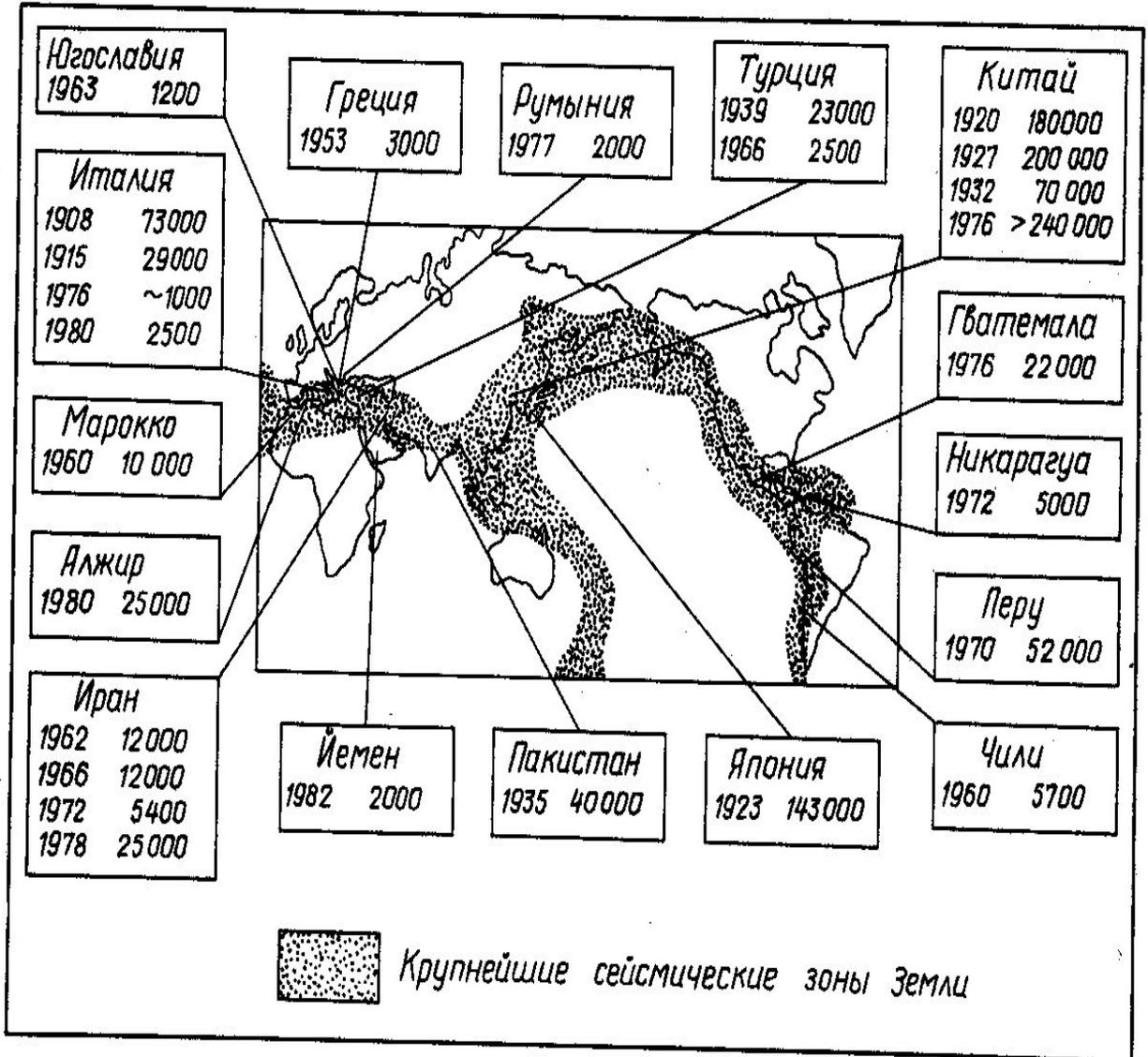


# ТЕОРИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ

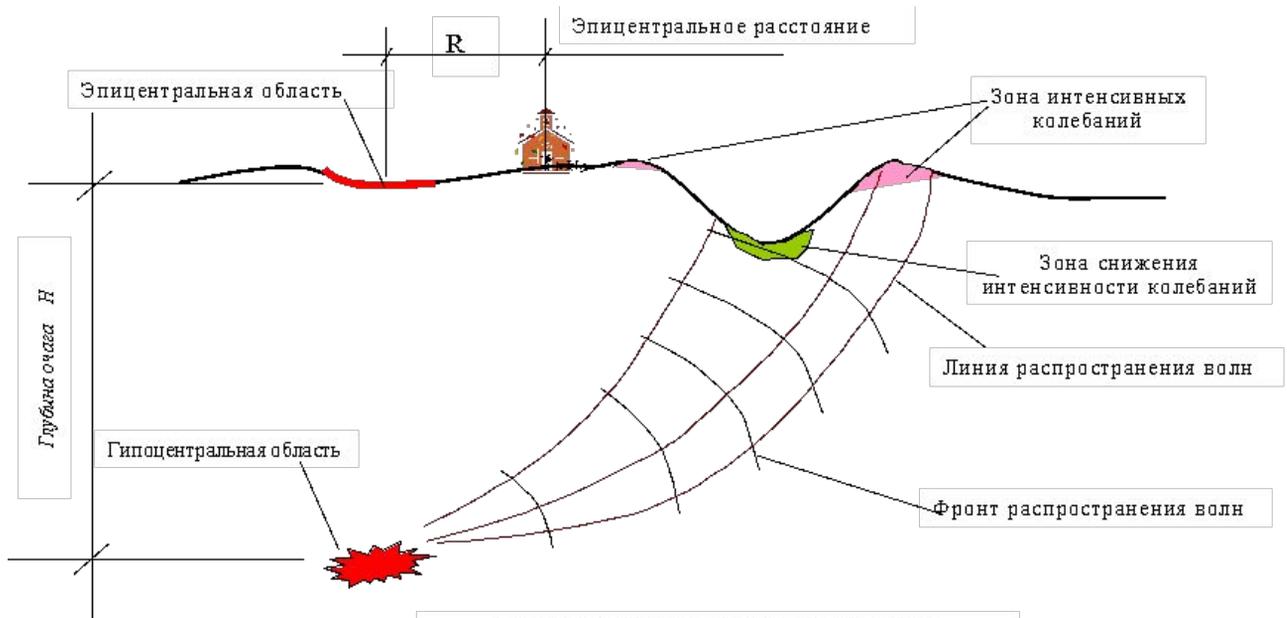
ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ  
ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДЛЯ  
ИНЖЕНЕРОВ

# Наиболее сильные по последствиям землетрясения

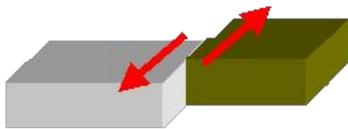


Наиболее разрушительные землетрясения XX века: страна, год, число погибших

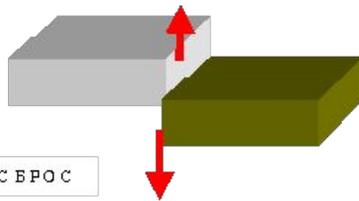
# Элементарные сведения из сейсмологии



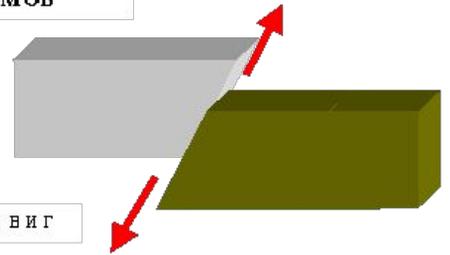
## ТИПЫ ТЕКТОНИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ



СДВИГ



СБРОС



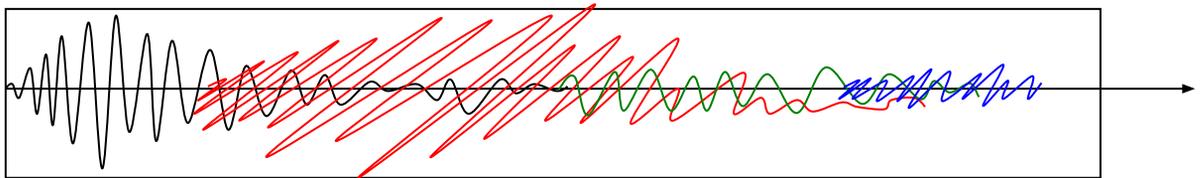
НАДВИГ

## ХАРАКТЕР РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН ОТ ОЧАГА К ПОВЕРХНОСТИ

$$V_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

$$V_1 \approx 1.5 \cdot V_2$$

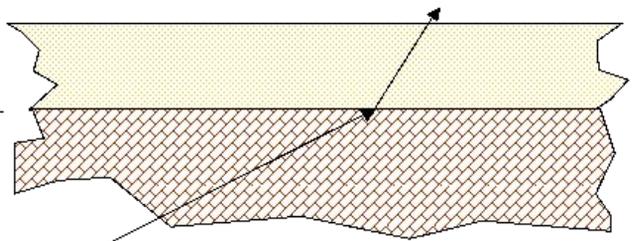
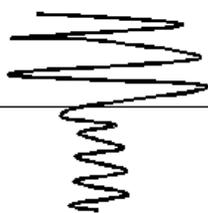


Изменение амплитуды колебаний при переходе из слоя в слой

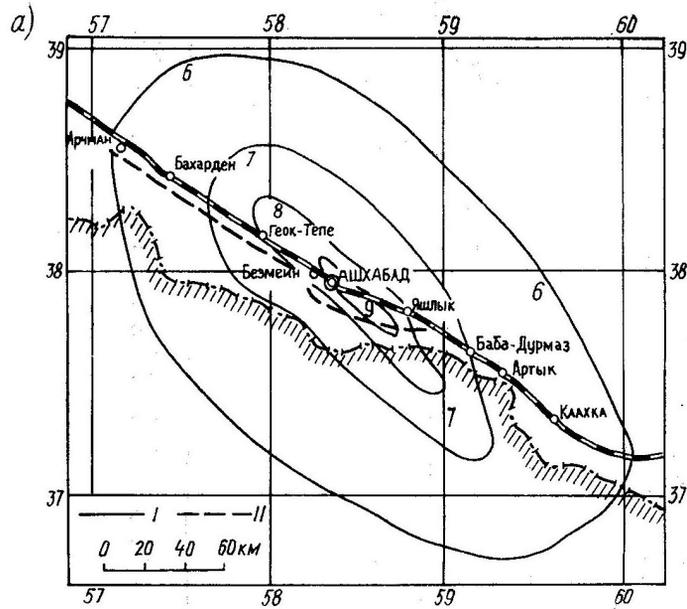
Изменение линии распространения волны при переходе из слоя в слой

Энергия волны

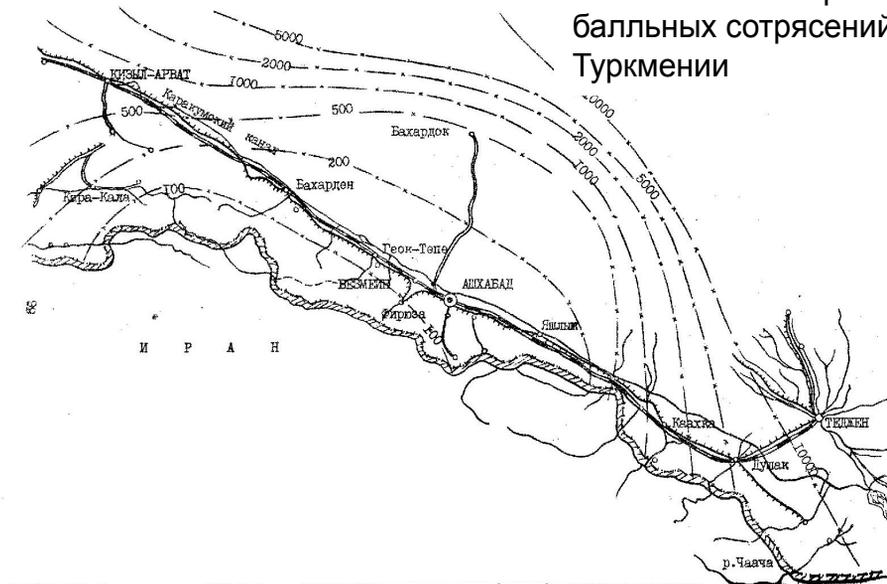
$$E = A^2 c \rho K$$



# Сила землетрясения и ее прогноз



Изосейсты повторяемости 8-балльных сотрясений в Туркмении



# Характеристика сейсмической опасности территории бывшего СССР

GSHAP Moscow Regional Center 7 - Chairman V. Ulomov ( UIPE RAS, Russia, ulomov@uipe-ras.scgis.ru ), 1997

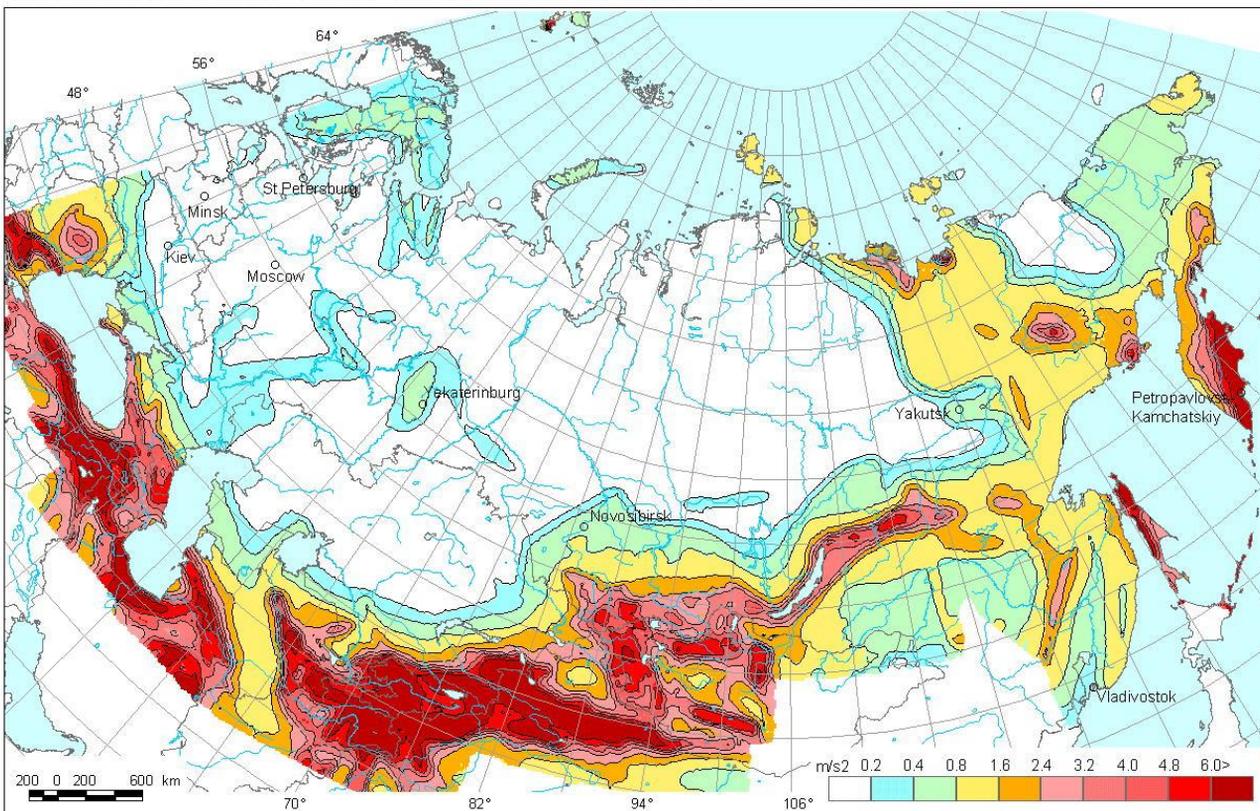
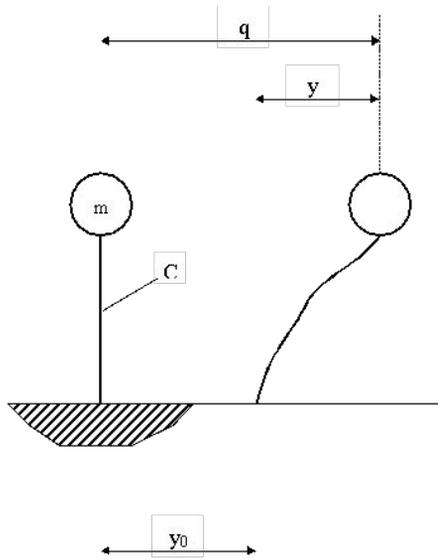


Fig. 10 : Peak Ground Acceleration (m/s<sup>2</sup>) Map with 10% Probability of Exceedance in 50 Years for Northern Eurasia

# Основы расчета на сейсмические воздействия



$$m\ddot{q} = -Cy$$

$$q = y_0 + y$$

$$m\ddot{y} + Cy = -m\ddot{y}_0$$

$$\ddot{y} + k^2 y = -\ddot{y}_0$$

$$k = \sqrt{\frac{C}{m}} \quad T = \frac{2\pi}{k}$$

Учет сил сопротивления

$$m\ddot{q} = -Cy - b_I \dot{y} - b_E \dot{q}$$

$b_I$  – коэффициент внутреннего демпфирования;

$b_E$  – коэффициент внешнего демпфирования;

$$m\ddot{y} + (b_I + b_E)\dot{y} + Cy = -m\ddot{y}_0 - b_E \dot{y}_0$$

$$\ddot{y} + 2n_\Sigma \dot{y} + k^2 y = -\ddot{y}_0 - 2n_E \dot{y}_0 \quad \ddot{y} + \gamma_\Sigma k y + k^2 y = -\ddot{y}_0 - \gamma_E k \dot{y}_0$$

$\gamma$  – коэффициент внутреннего сопротивления;

$\zeta = \gamma/2$  – затухание в долях критического

$\delta = \pi\gamma$  – декремент колебаний;  $\psi = 2\delta$  – коэффициент поглощения

СЕЙСМИЧЕСКИЕ СИЛЫ

$$S = M\ddot{y} = M\beta\ddot{y}_0 = M\beta A g = Q\beta B$$

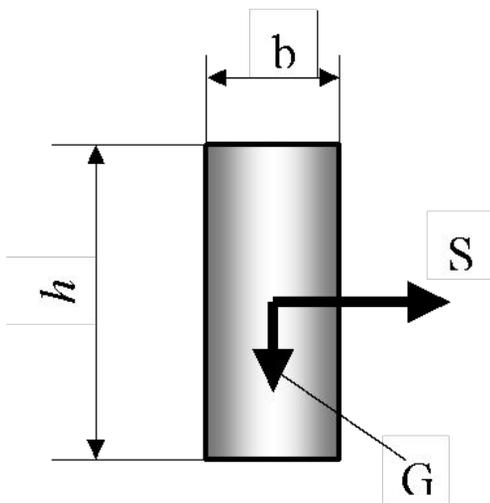
# Основы расчета на сейсмические воздействия

$$S_{\text{теор}} = M \cdot A \cdot g \cdot \beta(T, \gamma_{\text{ЭТ}}) \cdot K_{\Psi}(\gamma)$$

$$S = K_1 \cdot K_2 \cdot M \cdot A \cdot g \cdot \beta(T, \gamma_{\text{ЭТ}}) \cdot K_{\Psi}$$

$$Mg = G; \quad K_1 K_2 A = K_c$$

$$S = K_c \cdot G \cdot \beta(T, \gamma_{\text{ЭТ}}) \cdot K_{\Psi}$$

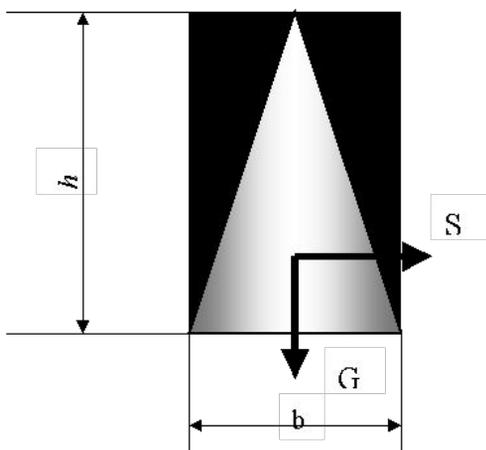


Проверка по эксцентриситету

$$e = \frac{S \cdot \frac{h}{2}}{G} = \frac{K_c \cdot \beta \cdot K_{\Psi} \cdot h}{2}$$

Проверка по сдвигу по подошве

$$k_{\text{запаса}} = \frac{Gf}{S} = \frac{f}{K_c \cdot \beta \cdot K_{\Psi}}$$



Проверка по эксцентриситету

$$e = \frac{S \cdot \frac{h}{3}}{G} = \frac{K_c \cdot \beta \cdot K_{\Psi} \cdot h}{3}$$

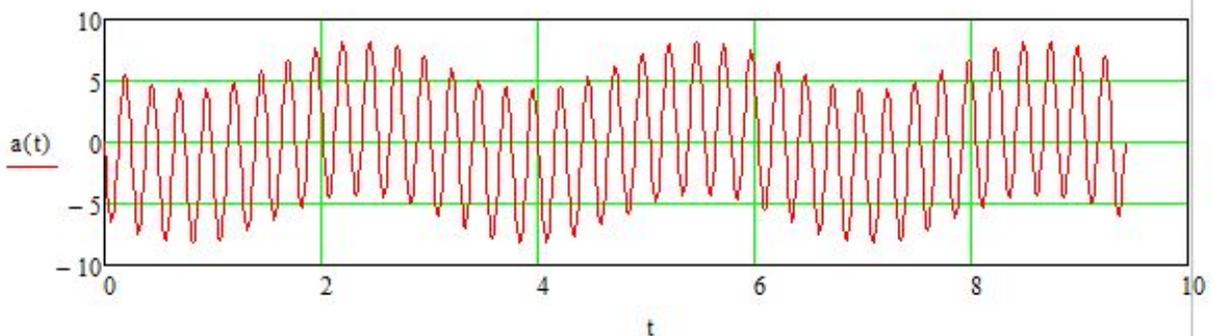
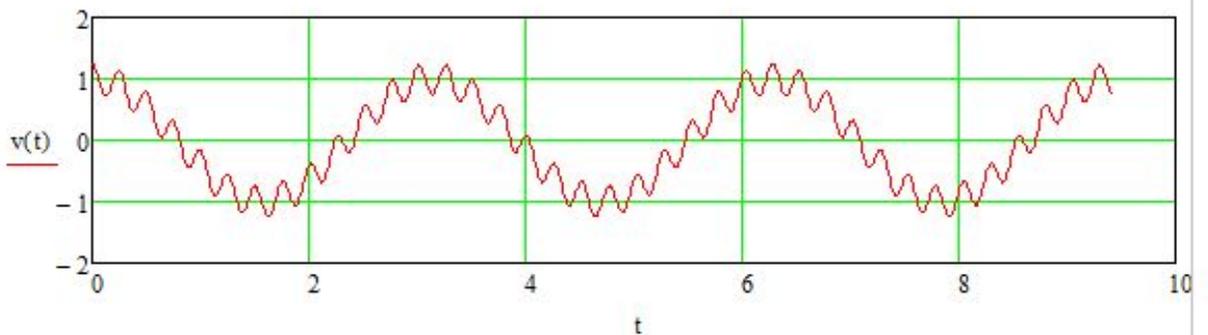
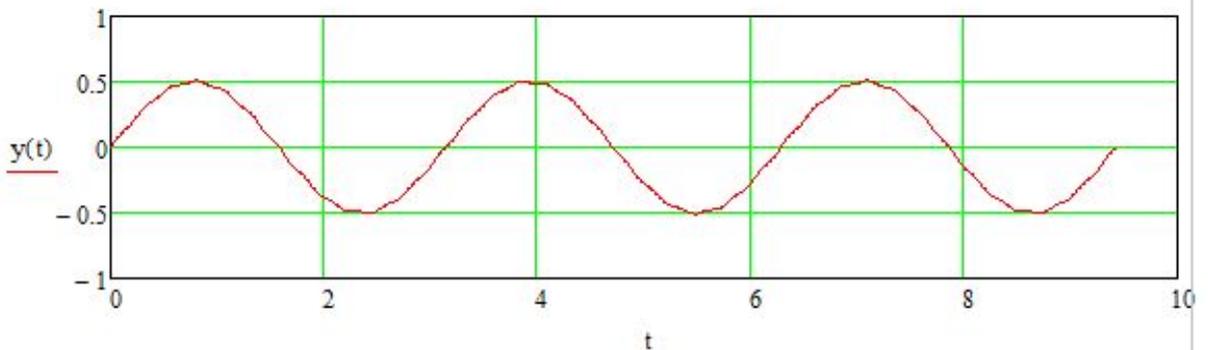
# ОШИБКА ОМОРИ

$$\varepsilon := \begin{pmatrix} 2 \\ 25 \end{pmatrix} \quad T_{\text{max}} = \frac{2 \cdot \pi}{\omega} = \begin{pmatrix} 3.142 \\ 0.251 \end{pmatrix} \quad A_{\text{max}} = \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0.01 \end{pmatrix}$$

$$i := 0..1 \quad ac_i := (\omega_i)^2 \cdot A_i \quad ac = \begin{pmatrix} 2 \\ 6.25 \end{pmatrix}$$

$$t := 0, \frac{T_1}{20} .. 3 \cdot T_0$$

$$y(t) := \sum_{i=0}^1 (A_i \cdot \sin(\omega_i \cdot t)) \quad v(t) := \sum_{i=0}^1 (A_i \cdot \omega_i \cdot \cos(\omega_i \cdot t)) \quad a(t) := \sum_{i=0}^1 [-A_i \cdot (\omega_i)^2 \cdot \sin(\omega_i \cdot t)]$$



# МНОГОУРОВНЕВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Несколько предельных состояний и несколько  
расчетных нагрузок

**PBD – Performance Based Designing**

**No-collapse requirement** – для обычных сооружений повторяемость примерно раз в 500 лет, т.е. по карте А, в Еврокоде-8 называется Design Earthquake

**Damage Limitation Requirement** - повторяемость примерно раз в 100 лет или в другом месте Еврокода – раз за срок службы

В нормах СССР для АЭС, больших плотин, мостов первое называется **максимальным расчетным**, а второе **проектным**. В новых СП первое называется проектным, а второго вовсе нет.

Идея двойного расчета – на относительно слабые частые воздействия в упругой стадии работы без повреждений и на сильные редкие воздействия с повреждениями

Спектральный метод обслуживает оба расчета

# РАСЧЕТ НА СЛАБОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ (ПЗ)

$$S = K_{1,ПЗ} \cdot K_2 \cdot M \cdot A \cdot g \cdot \beta(T, \gamma_{эм}) \cdot K_{\Psi}$$

$K_{1,ПЗ}$  – коэффициент перехода от сильного воздействия (МРЗ) с ускорениями  $A_g$  к слабому (ПЗ) с ускорениями  $K_{1,ПЗ} A g$ ; не зависит от типа сооружения, но зависит от сейсмической опасности территории (ситуационной сейсмичности)

**РАСЧЕТ СИЛОВОЙ**, т.е. ограничиваются усилия и напряжения в элементах конструкции

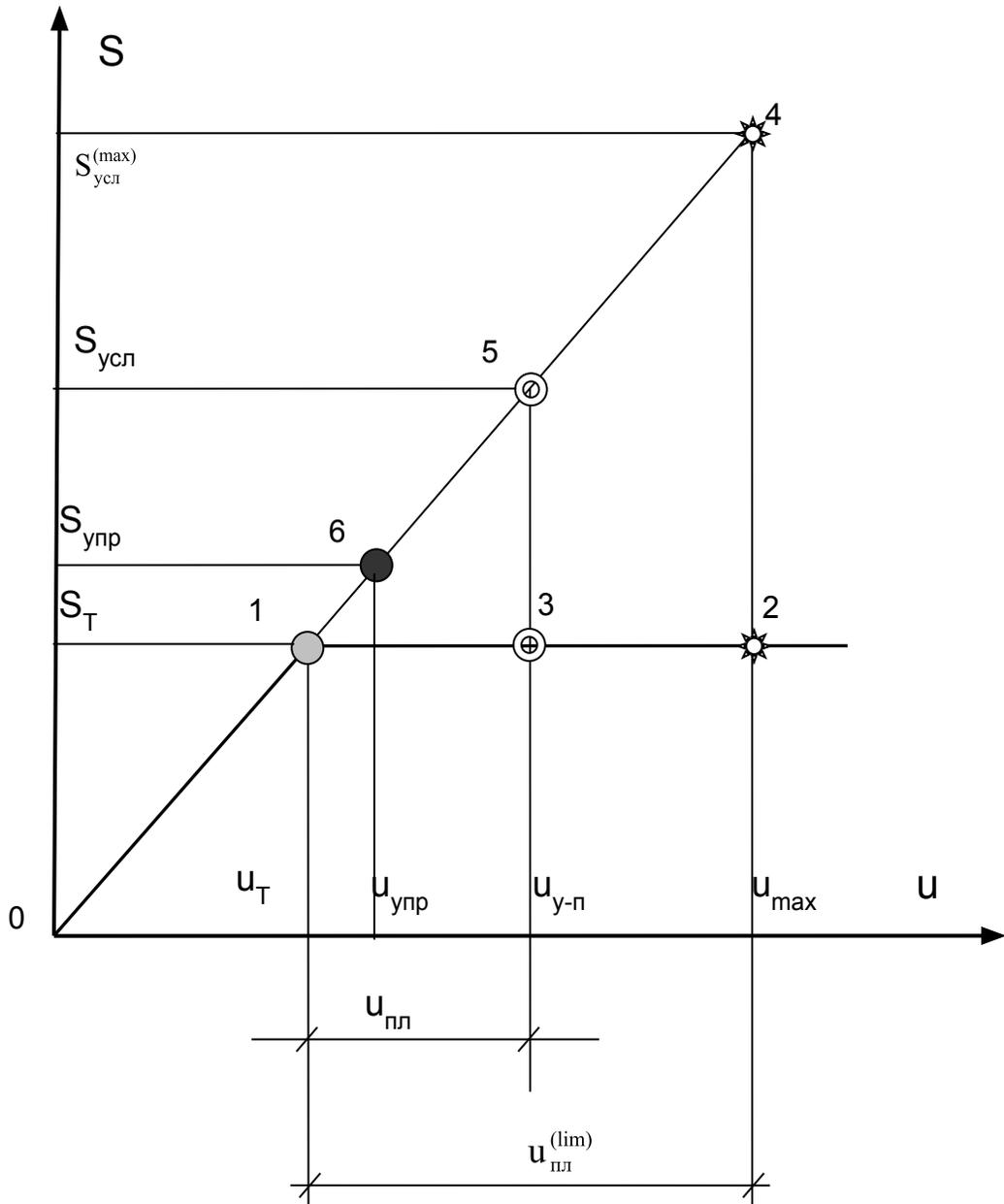
# РАСЧЕТ НА СИЛЬНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ (МРЗ)

$$S = K_{1,МРЗ} \cdot K_2 \cdot M \cdot A \cdot g \cdot \beta(T, \gamma_{эм}) \cdot K_{\Psi}$$

$K_{1,МРЗ}$  – коэффициент предельных состояний (редукции); не зависит от сейсмической опасности территории, но зависит от свойств сооружения

**РАСЧЕТ КИНЕМАТИЧЕСКИЙ**, т.е. ограничиваются перемещения в элементах конструкции

# РАСЧЕТ НА СИЛЬНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ (МРЗ)



**Условие сейсмостойкости при МРЗ**

$$u_{\text{пл}} < u_{\text{пл}}^{(\text{lim})} \quad (1)$$

# РАСЧЕТ НА СИЛЬНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ (МРЗ)

$$S_{\text{усл}} < S_{\text{усл}}^{(\text{max})} \quad (2)$$

$$K_{\mu} = \frac{u_{\text{max}}}{u_T} = \frac{S_{\text{усл}}^{(\text{max})}}{S_T}$$

$$S_{\text{усл}} \cdot \frac{1}{K_{\mu}} < S_T$$

На практике условную нагрузку  $S_{\text{усл}}$  заменяют упругой условной нагрузкой  $S_{\text{упр}}$ , совмещая точку 5 и точку 6 на рис. 3. При таком допущении вместо равенства (2) получают

$$S_{\text{упр}} \cdot K_{1,\text{МРЗ}} < S_T$$

(3)