

# Расчет на сейсмические воздействия в системе SCAD



**«...людей убивают не землетрясения, а здания»**

**М.А.Клячко**





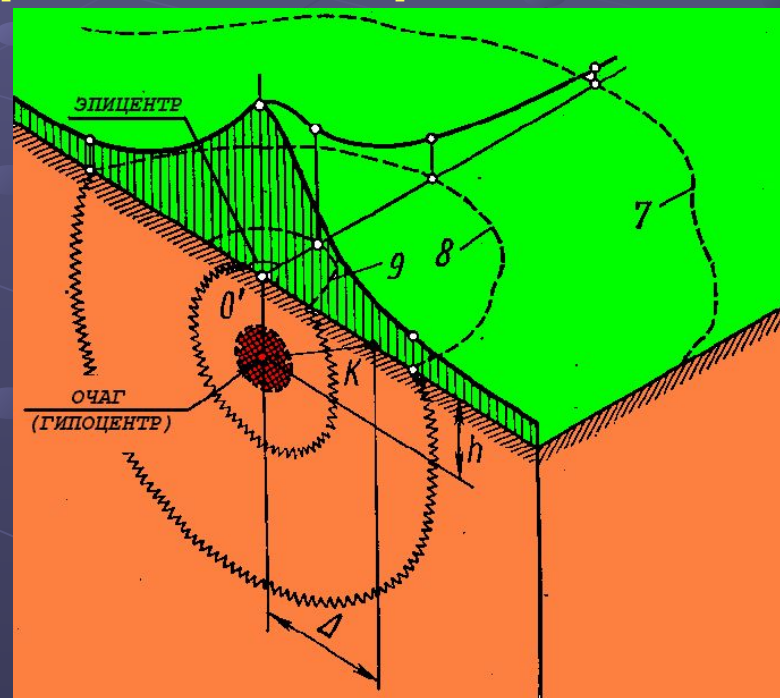
# Общие сведения о землетрясениях

Землетрясения возникают обычно в зонах разлома земной коры, их интенсивность в очаге измеряется шкалой магнитуд  $M$  (шкалой Рихтера), а на поверхности земли сила землетрясения  $I$  определяется шкалой балльности

Примерно:

$$I = 1,5M - 3,5 \lg(h^2 + d^2)^{1/2} + 3$$

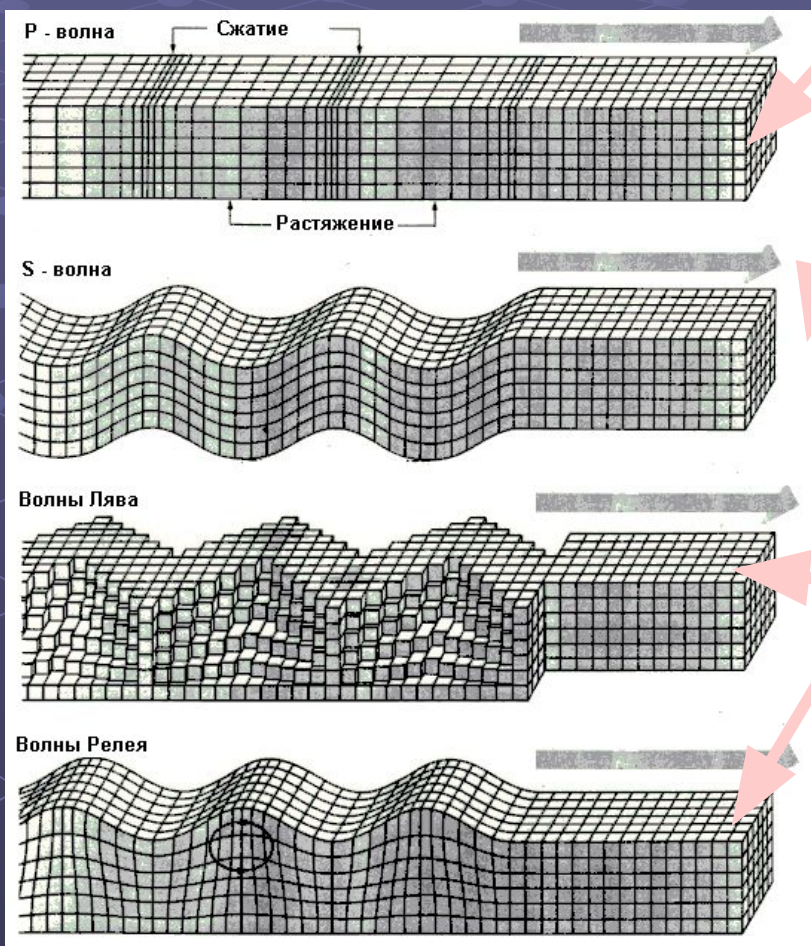
где глубина  $h$  и расстояние  $d$  заданы в километрах







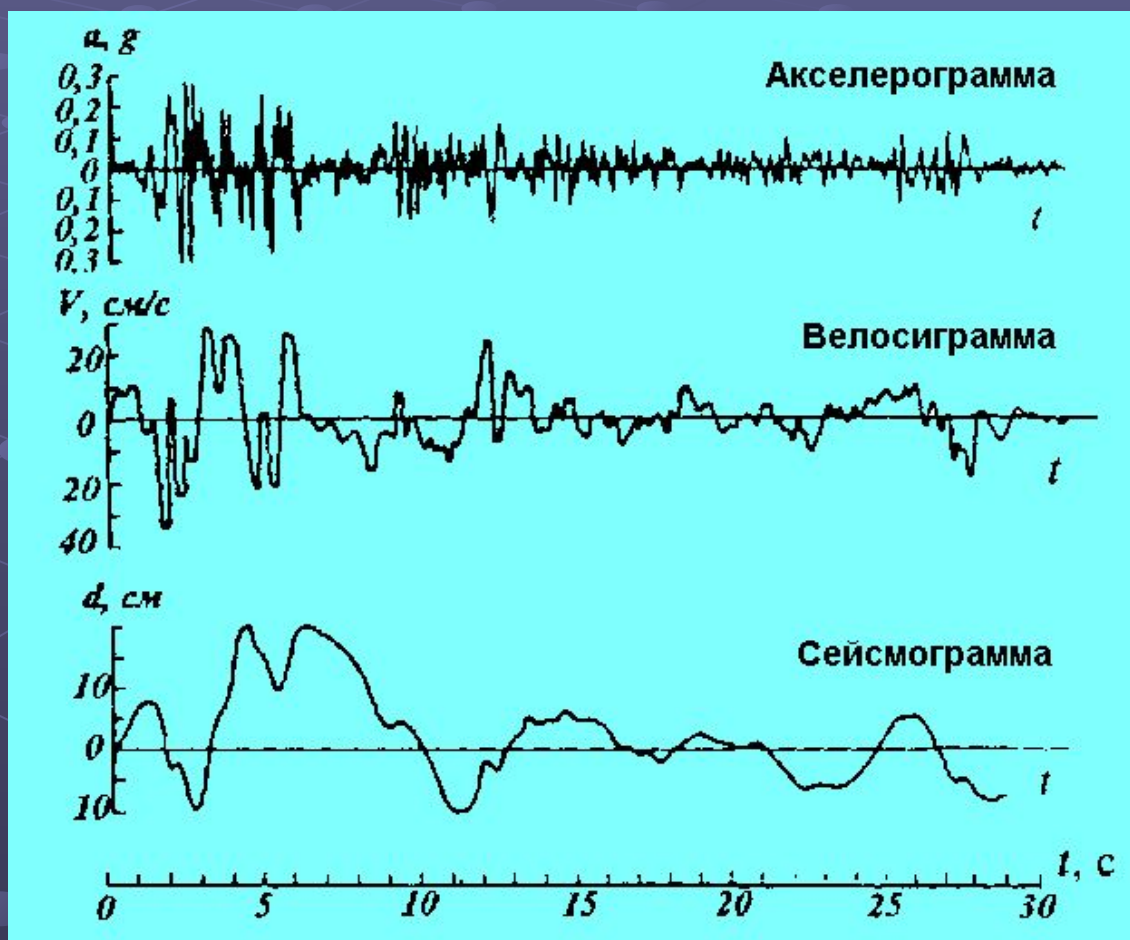
От очага к поверхности распространяются  
глубинные волны: продольные волны сжатия и  
поперечные волны сдвига.

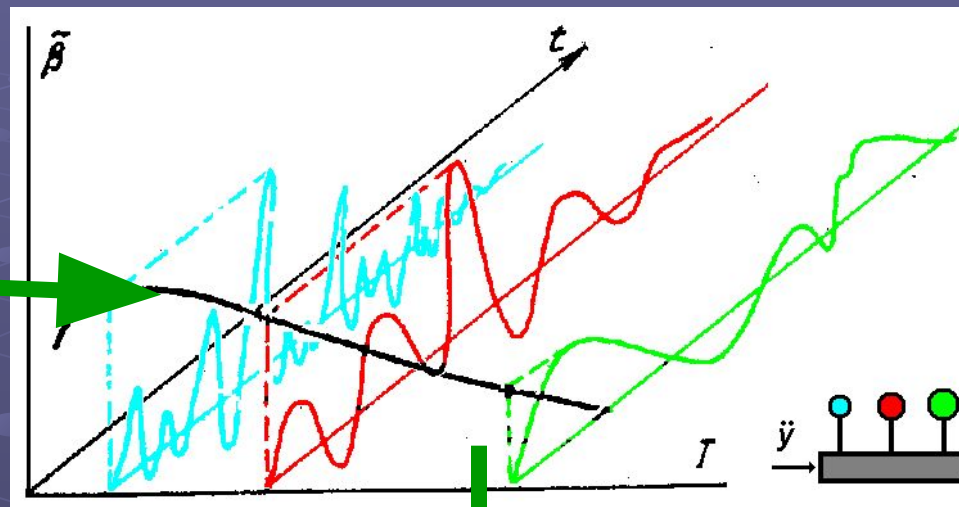
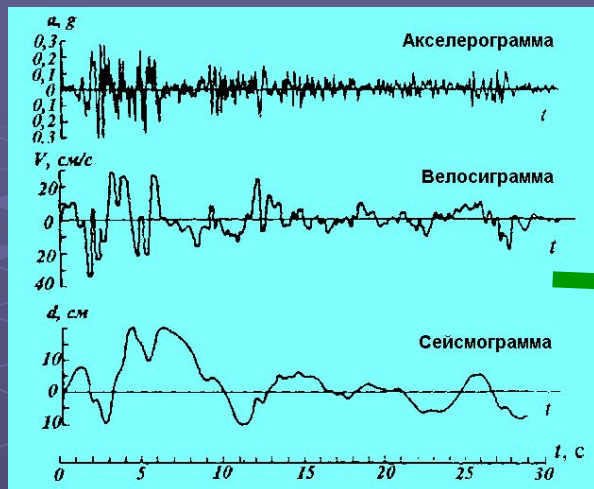


При отражении глубинных волн от дневной поверхности возникают поверхностные волны Лява (сдвиги в плоскости дневной поверхности) и волны Рэлея (аналогичные волнам на воде).

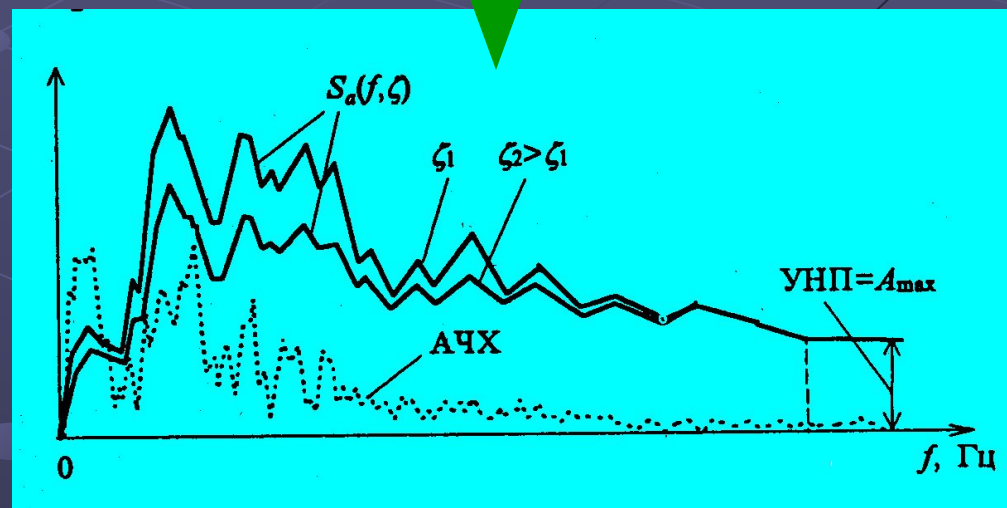


**Сейсмические движения грунта определяются акселерограммами (зависимость «ускорение - время»), велосигramмами («скорость - время») или сейсмограммами («перемещение - время»)**





Часто используется способ задания сейсмического воздействия с помощью спектра отклика





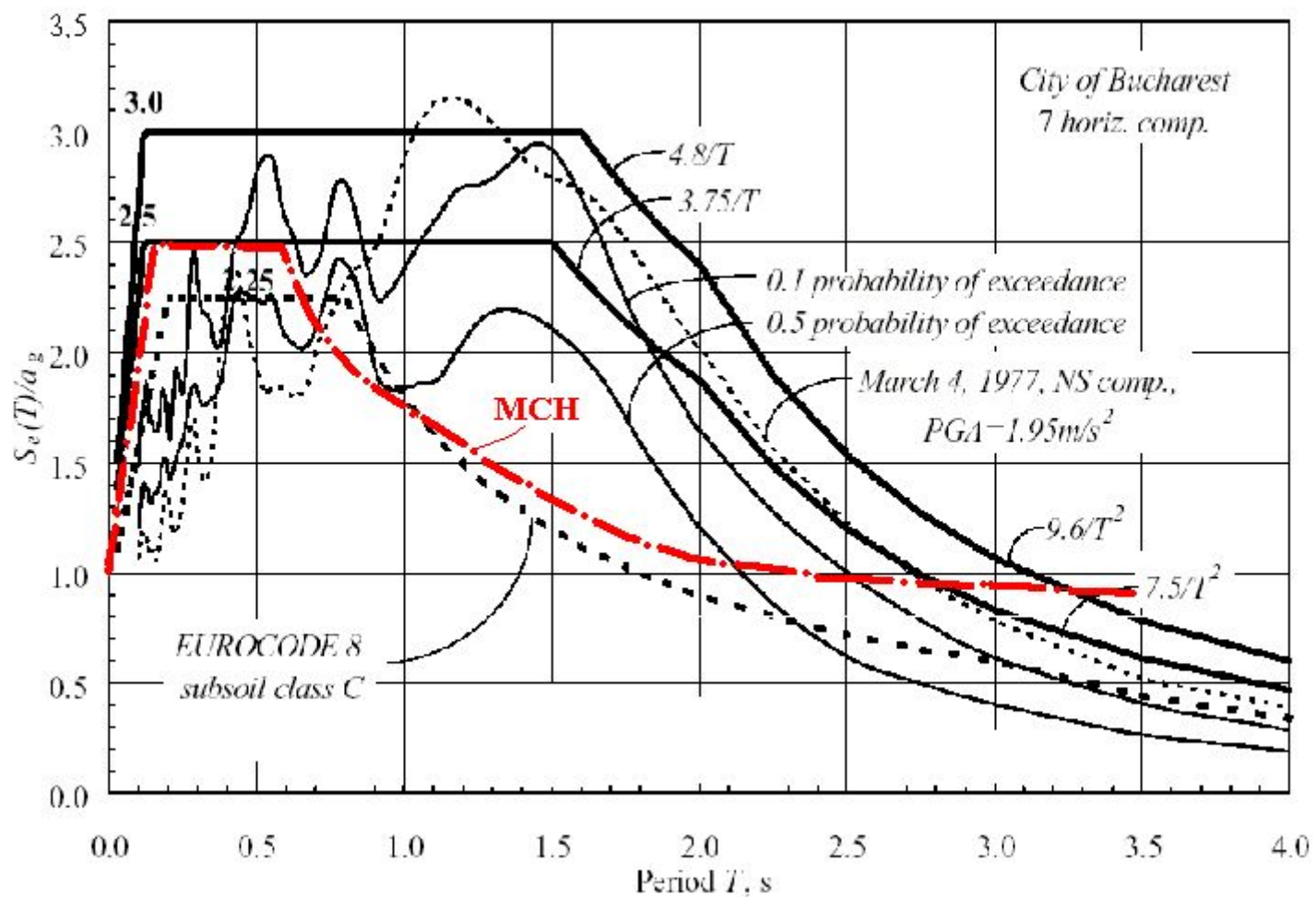
# Нормирование сейсмических воздействий

Нормативные документы регламентируют выполнение сейсмических расчетов на базе линейно-спектральной теории. В ее основе лежат вычисленные (или замеренные) ускорения маятников с различными периодами собственных колебаний, вызванные землетрясением. Максимальные значения таких ускорений представляются в функции периода собственных колебаний маятника (пробного осциллятора) и образуют спектр реакций, который служит основой для определения сейсмической нагрузки.





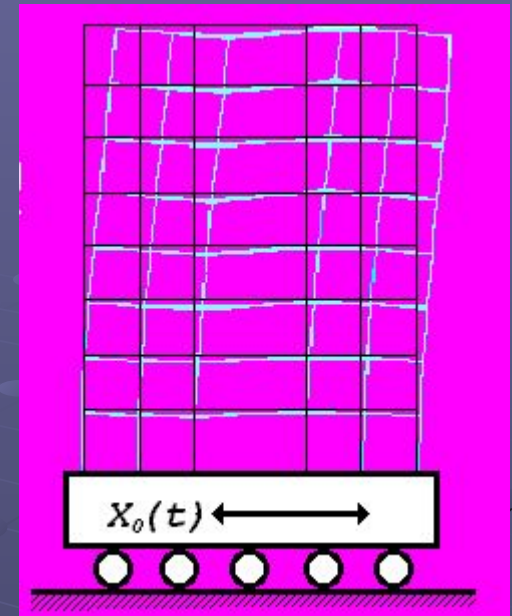
В СНиП эти данные приводятся в форме коэффициента динамичности.







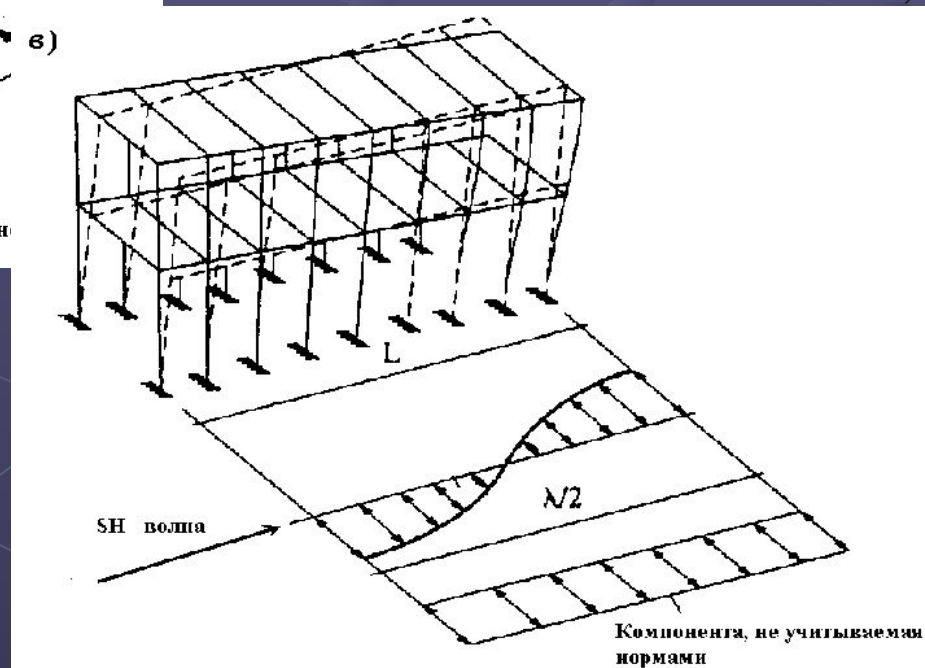
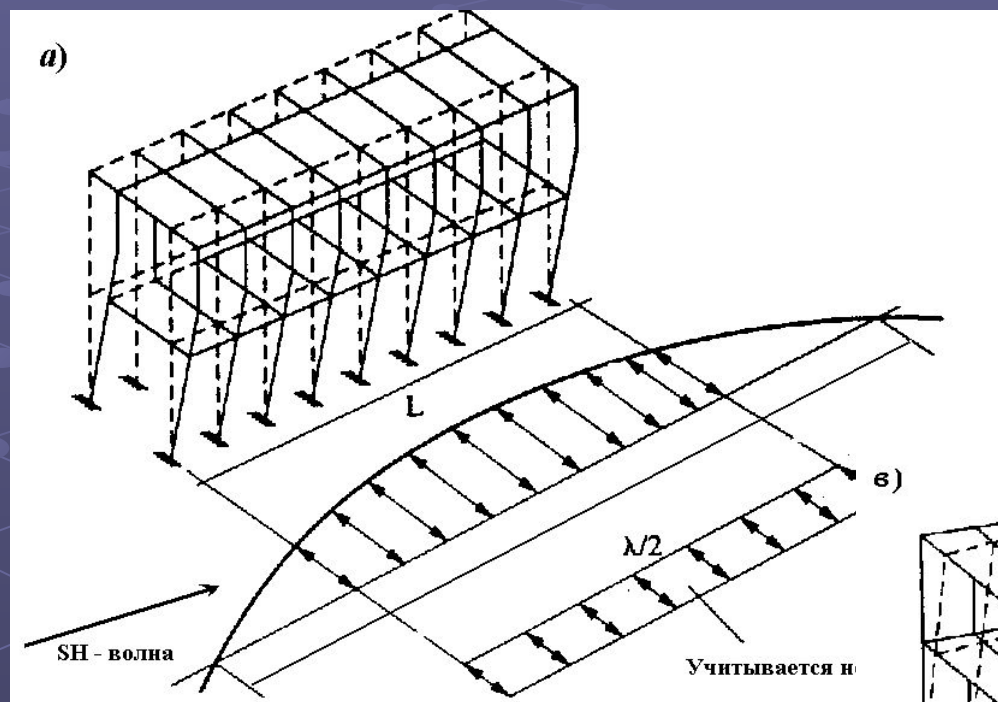
Используется предположение о поведении основания сооружения как единого жесткого тела (к сожалению, без явного указания на эту гипотезу), предполагая, что все опорные точки конструкции движутся поступательно по одинаковому закону  $X_0 = X_0(t)$ .



Учет вращений, сопровождающих поступательное перемещение основания, предусматривается в проекте новых норм, однако в этой части еще продолжается дискуссия.



## Поступательное движение



## Вращение



# Сейсмическая нагрузка

Расчетная сейсмическая нагрузка в точке  $k$ , соответствующая  $i$ -му тону собственных колебаний

$$S_{ik} = K_1 K_2 Q_k A \beta_i K_\psi \eta_{ik}$$

$K_1$  – допустимые повреждения;  $K_2$  и  $K_\psi$  – конструкция;

$Q$  – вес массы;  $A$  – расчетная сейсмичность;

$$\eta_{ik} = \frac{\Psi_{ik} \sum_{j=1}^n Q_j \Psi_{ij}}{\sum_{j=1}^n Q_j \Psi_{ij}^2}$$

Здесь  $\Psi$  – форма собственных колебаний.





## Динамическая модель

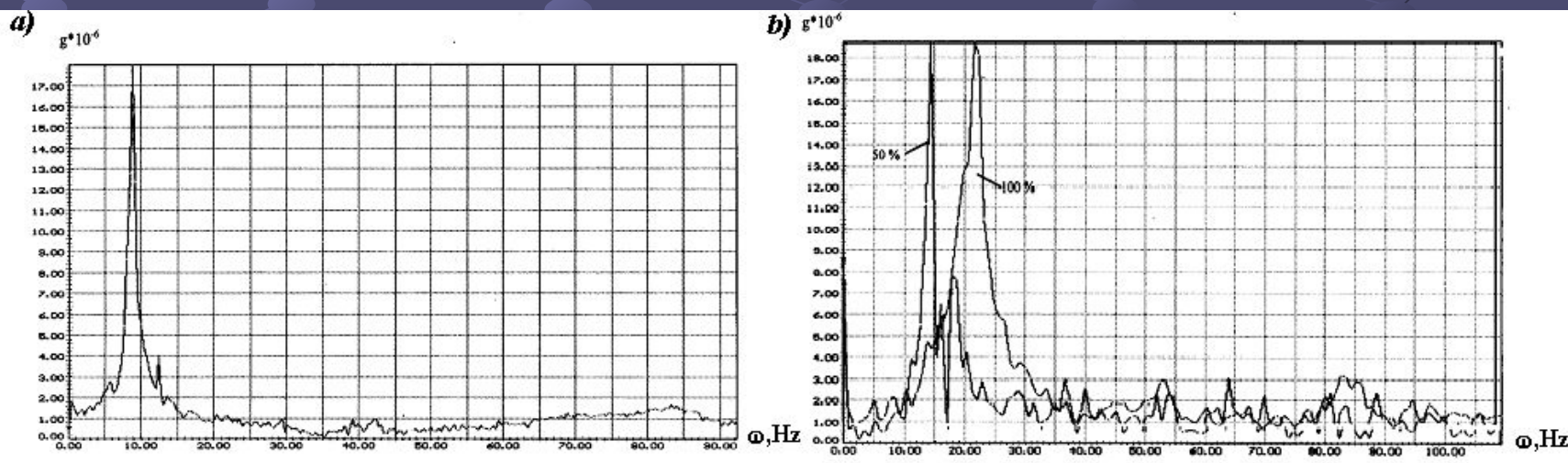
Принятая динамическая модель определяет частоты и формы собственных колебаний. Важно правильно указать учитываемые массы и жесткости.

Заметное влияние оказывают «ненесущие» элементы здания (перегородки, ограждения и т.п.).

Первый тон:

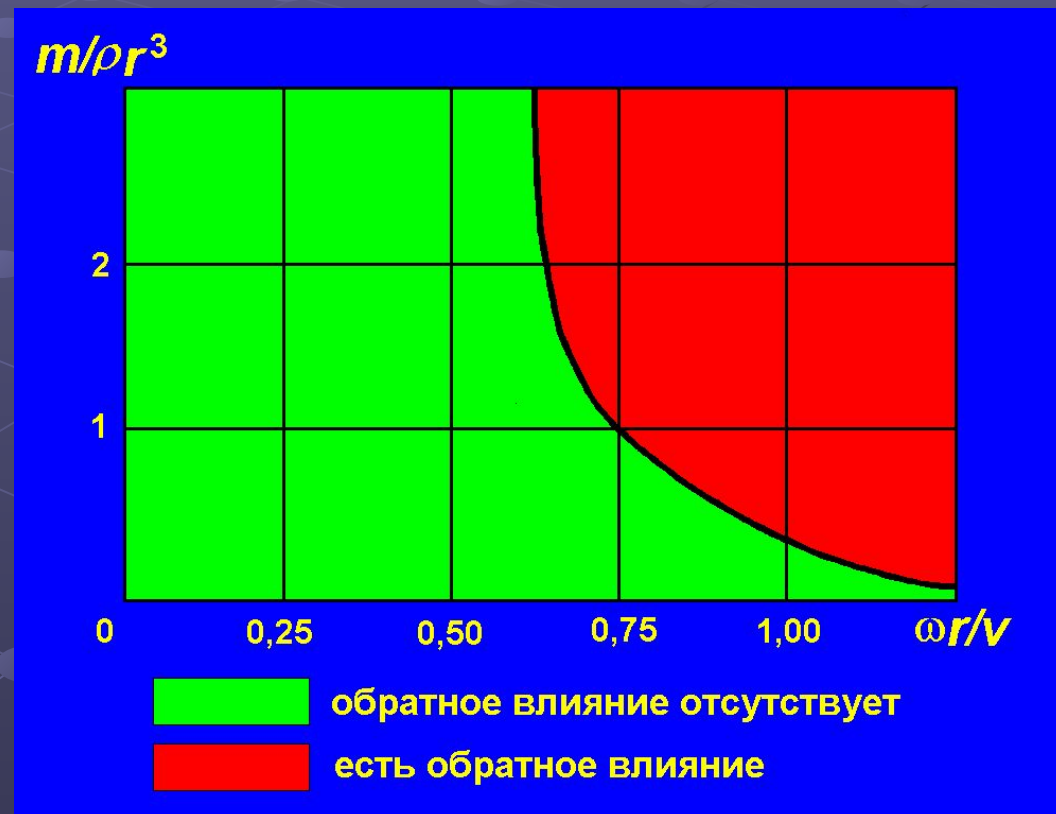
без перегородок – 9,6 Гц

с перегородками – 13,2 Гц



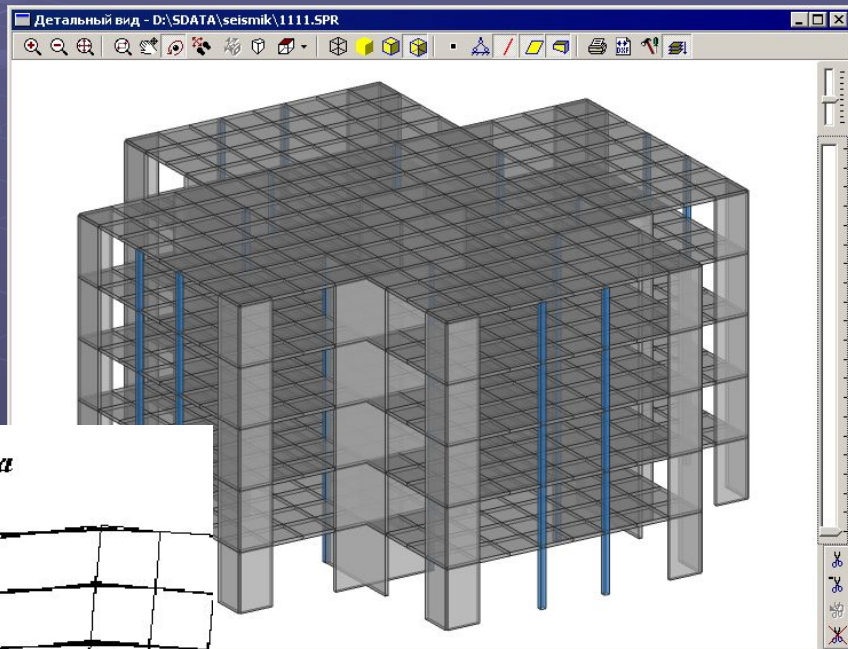


В системе «сооружение-основание» возникает обратное воздействие сооружения на основание. Его интенсивность зависит от массы сооружения  $m$ , радиуса фундамента  $r = (F/\pi)^{1/2}$ , плотности грунта  $\rho$  и скорости распространения волн  $V$ .

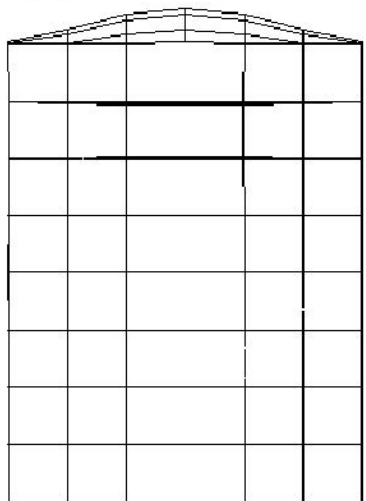




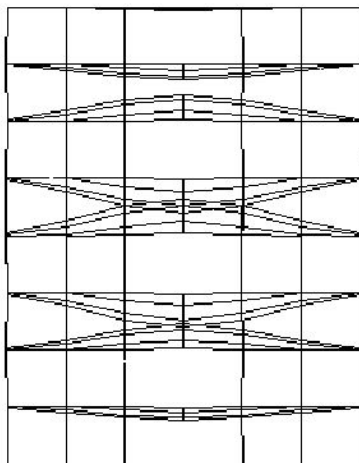
**Важно правильно выбрать число учитываемых форм собственных колебаний. Бывают случаи, когда первые 6-7 собственных форм не влияют на решение**



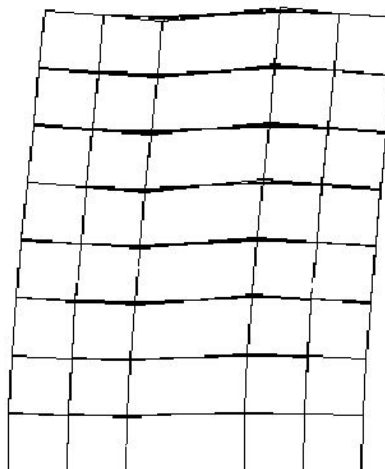
*1-я форма*



*2-я форма*



*10-я форма*







Для определения частот и форм собственных колебаний можно использовать блочный алгоритм Ланцоша со сдвигами. Реализованный в SCAD вариант метода оснащен механизмом подсчета процента учтенной модальной массы.

Параметры динамических воздействий

Ввод параметров динамической нагрузки

Категория воздействия

- ☒ Сейсмические воздействия
- ☐ Ветровые воздействия
- ☐ Прочие воздействия

Загрузка: 2 Modal

Имя загрузки: Modal

☒ Преобразование статических нагрузок в массы

Номер и имя присоединяемого статического нагружения: 1 Did

Козф. пересчета: 1 2.5

Записать

Удалить

Тип воздействия

- Сейсмика по СНиП
- Сейсмика по СНиП (01.01.2000)
- Сейсмика по акселерограммам
- Сейсмика по СНиП республики Каз
- Сейсмика по заданным акселерогр

Определение собственных форм и частот выполнить методом

- ☐ Итерации подпространств
- ☒ Ланцоша
- ☐ Наискорейшего спуска

☒ Анализ в заданном частотном диапазоне

от 0 гц до 0 гц

☒ Автоматическое определение количества форм исходя из % выбранных масс по направлениям:

X 90 % Y 90 % Z 75 %

OK Отмена Справка

Параметры динамических воздействий

Ввод параметров динамической нагрузки

Категория воздействия

- ☐ Сейсмические воздействия
- ☒ Ветровые воздействия
- ☐ Прочие воздействия

Загрузка: 2 Modal

Имя загрузки: Modal

☒ Преобразование статических нагрузок в массы

Номер и имя присоединяемого статического нагружения: 1 Did

Козф. пересчета: 1 2.5

Записать

Удалить

Тип воздействия

- Пулсации ветра
- Ветровые пульсации по МГСН

Определение собственных форм и частот выполнить методом

- ☐ Итерации подпространств
- ☒ Ланцоша
- ☐ Наискорейшего спуска

☒ Анализ в заданном частотном диапазоне

от 0.5 гц до 3.0 гц

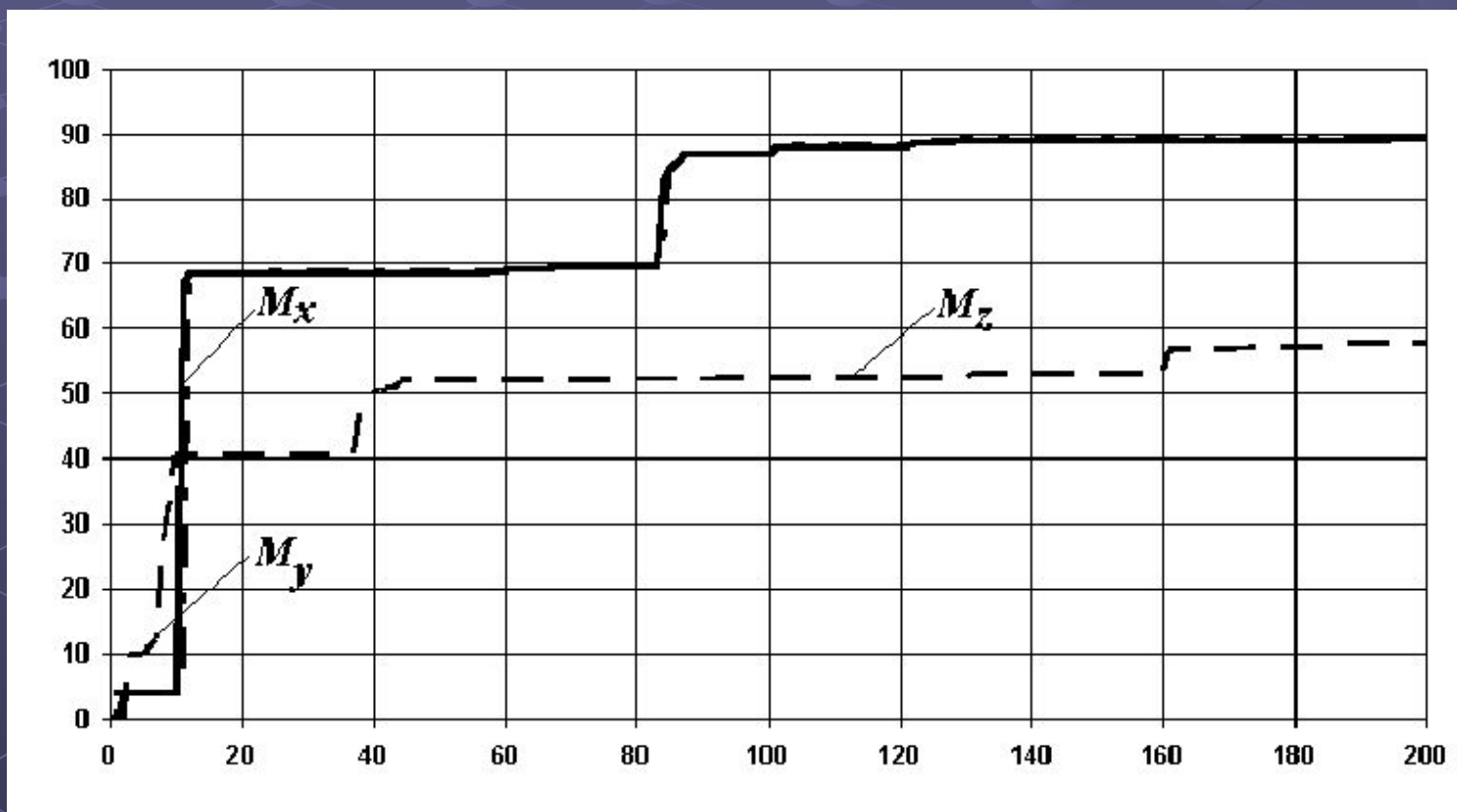
☒ Автоматическое определение количества форм исходя из % выбранных масс по направлениям:

X 90 % Y 90 % Z 75 %

OK Отмена Справка



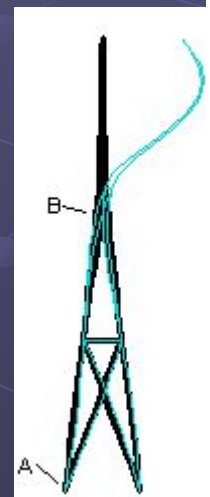
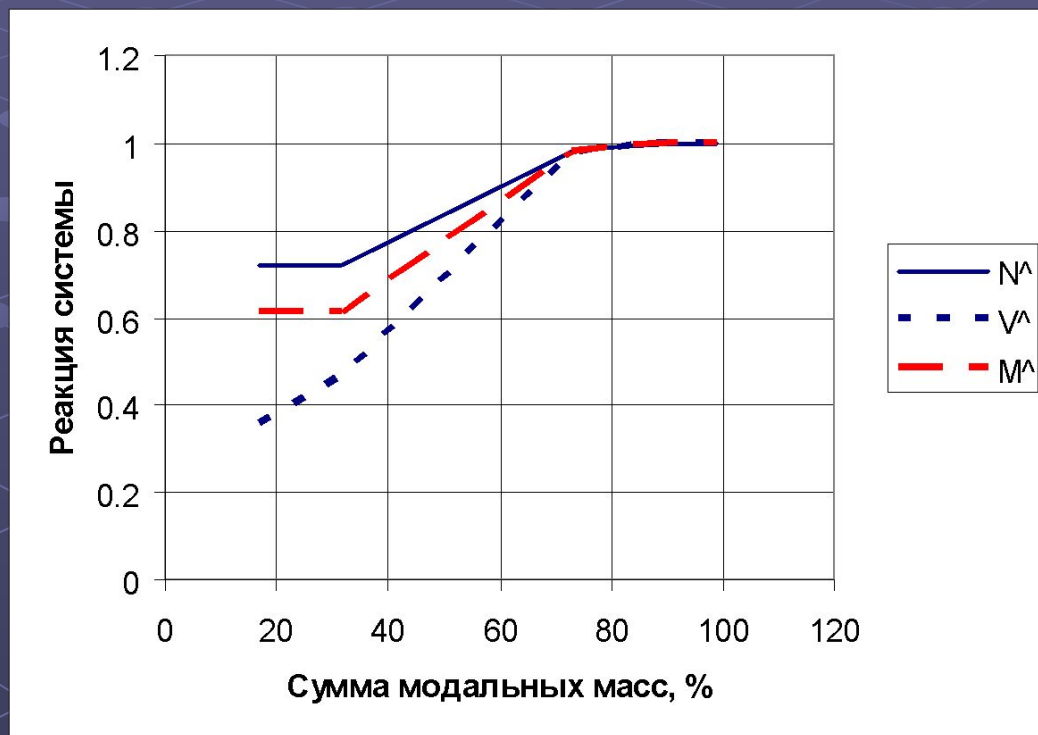
Опыт показывает, что приращение значения учтенной массы происходит негладко, и многие собственные формы практически ничего не привносят в этот показатель.





## Сопоставление критерия учтенных масс и критерия реакции системы

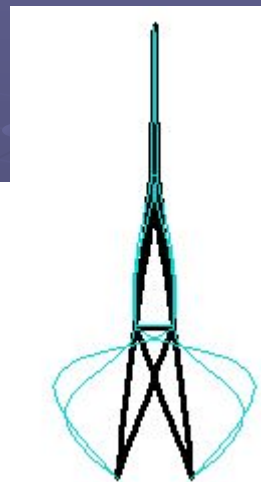
SRSS по 100 формам



1-я форма



2-я форма



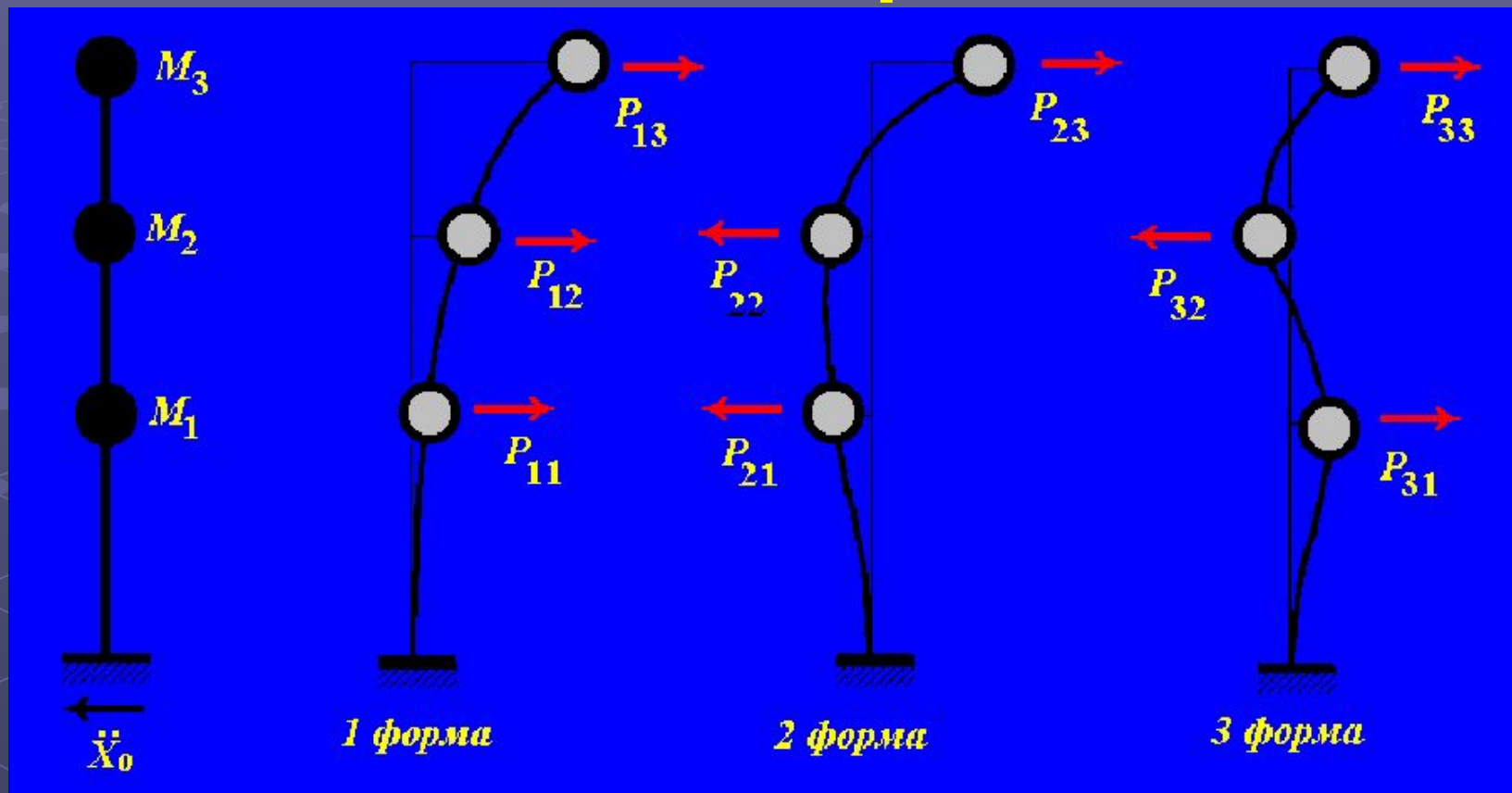
3-я форма







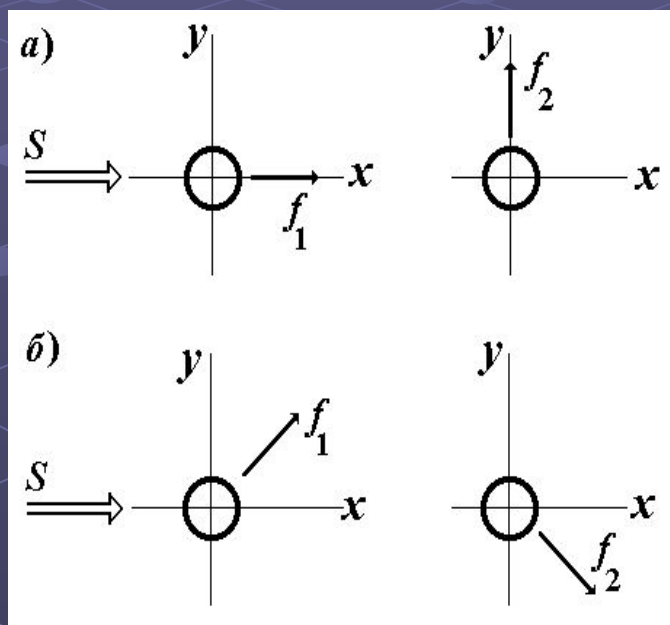
# Сейсмическая реакция



Суммирование вкладов отдельных форм колебаний нормами рекомендуется выполнять с использованием среднеквадратичной оценки Розенблума.



**Использование формулы Розенблюма «гасит» знаки модальных компонент сейсмической реакции, что может приводить к недоразумениям.**



**Для варианта б) будут возбуждаться обе формы собственных колебаний, но тот факт, что компоненты по оси Y имеют разные знаки и гасят друг друга, окажется потерянным. В результате окажется, что возбуждаются перемещения не только по направлению действия сейсмического толчка, но и в перпендикулярном направлении.**



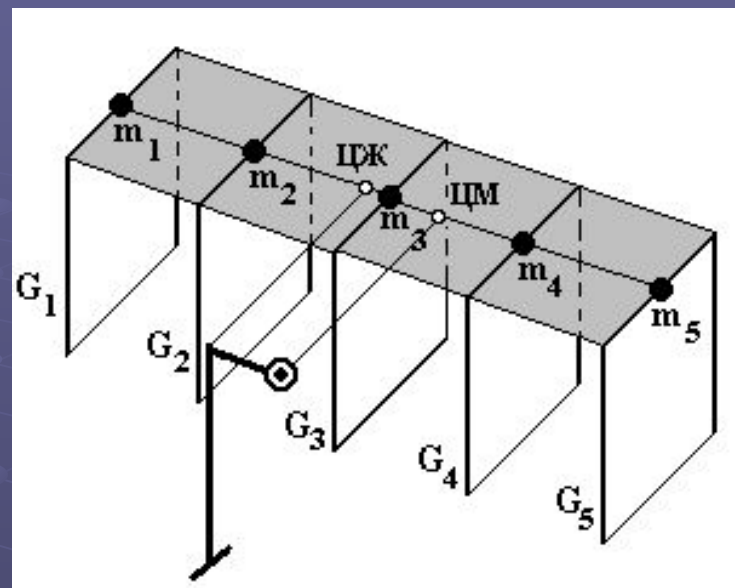
**Суммирование внутренних усилий, которые определяются для каждой из учитываемых форм собственных колебаний, также выполняют по формуле Розенблюма, и потеря знака при возведении в квадрат приводит, например, к тому, что сжато-изогнутые сечения оказываются растянуто-изогнутыми.**

**Для борьбы с этим явлением значениям компонент вектора внутренних усилий присваиваются знаки такие, как в первой форме собственных колебаний. Но для этого нужно предположить, что именно первая форма собственных колебаний и реализует основной вклад в суммарное значение каждой из компонент вектора-ответа. А это не всегда так.**





Простейшие консольные схемы, широко распространенные в практике проектирования, являются данью традиции «ручного» расчета. Более того, они маскируют некоторые реальные эффекты поведения конструкций, что приводит к необходимости искусственного введения эксцентриситетов (см. п. 2.15 норм), чтобы учесть крутильные колебания.

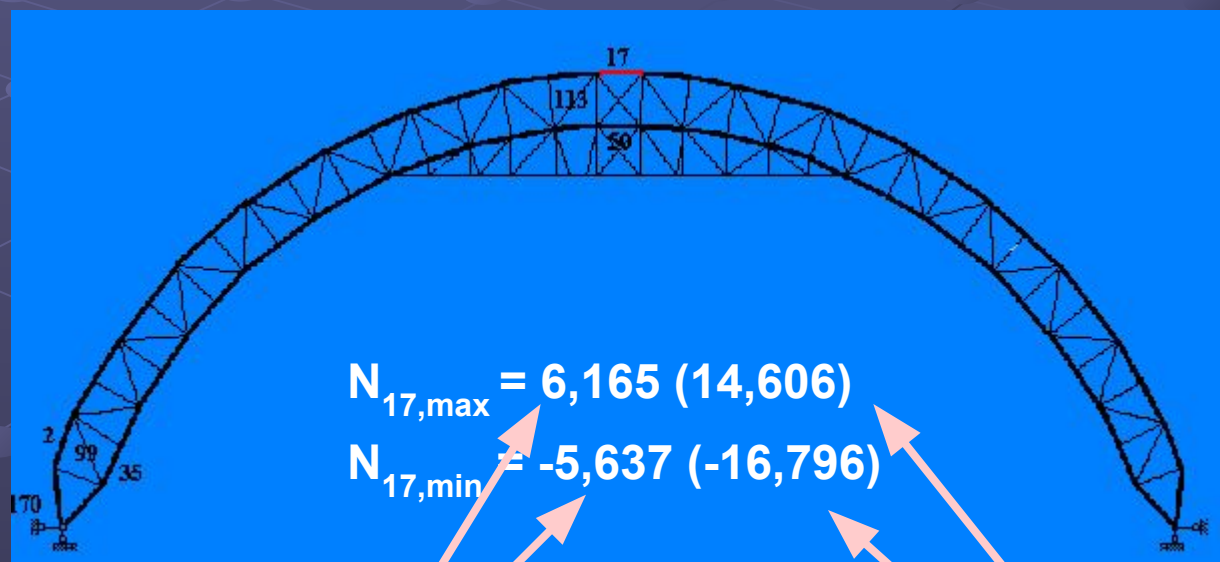


Можно ввести массы с коэффициентами  $\gamma_f$  и  $2-\gamma_f$  на разных половинах схемы.



**Предположение о синхронном движении всего основания недопустимо использовать, когда размеры сооружения сопоставимы с длиной сейсмической волны.**

**Пролет 266 м  
Длина волны 432 м**



**синхронно**

**Не синхронно**



## Направление действия

Направление действия сейсмической нагрузки задается в программе с помощью направляющих косинусов. Требуется перебрать множество таких направлений, чтобы найти наименее выгодное, и они оказываются различными для разных факторов.

Детальные рекомендации приведены в нормах проектирования атомных объектов:

$$S = S_x + 0,4S_y + 0,4S_z;$$

$$S = 0,4S_x + S_y + 0,4S_z;$$

$$S = 0,4S_x + 0,4S_y + S_z;$$

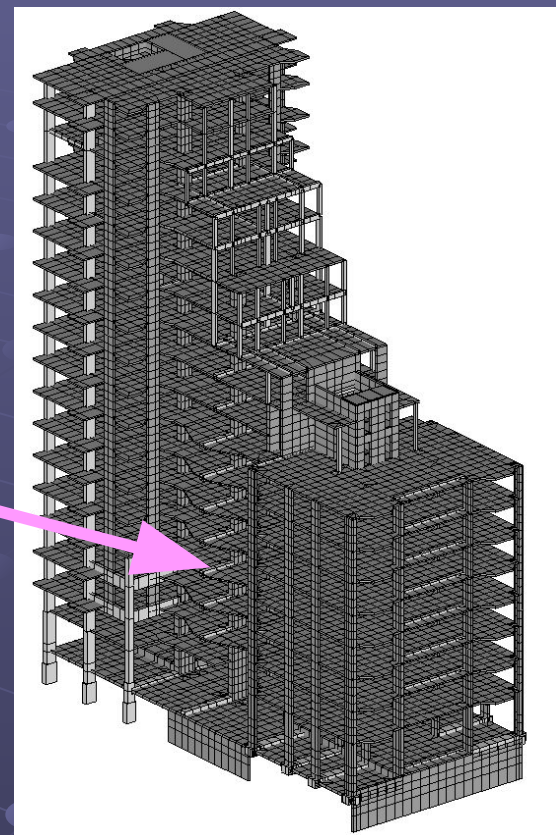
$$S = (S_x^2 + S_y^2 + S_z^2)^{1/2}$$



# Здания обычной застройки

Было интересно проверить, что происходит в зданиях, где не выполняются конструктивные рекомендации для строительства в сейсмических районах, и для этого выполнены расчеты недавно построенного в Киеве здания.

По сравнению с обычным расчетом, не учитывающим сейсмическое воздействие, расчетные усилия в некоторых несущих элементах возросли на 15% при сейсмичности 5 баллов и на 40% - при 6 баллах.







Имеются многочисленные примеры увеличения уровня сейсмичности уже застроенных территорий, например, вследствие техногенных влияний. Многие регионы изменили уровень сейсмичности при введении новых карт сейсморайонирования России

Оценка возможного уровня увеличения сотрясаемости (Укргеология)

