

**ПРОБЛЕМА УЧЕТА  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
СООРУЖЕНИЯ С  
ОСНОВАНИЕМ ПРИ ОЦЕНКЕ  
СЕЙСМОСТОЙКОСТИ  
СООРУЖЕНИЙ**

# ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ:

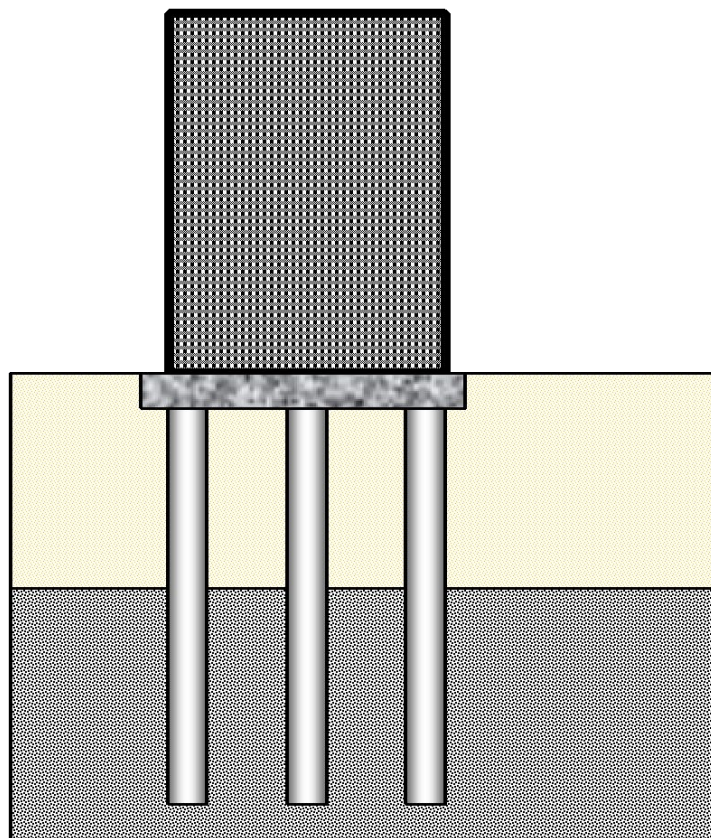
- задание сейсмологической информации на свободной дневной поверхности;
- задание расчетного воздействия на сооружения;
- задание модели грунтового основания;
- разработка методики расчета сейсмостойкости сооружений с учетом основания;
- установление общих качественных закономерностей взаимодействия сооружения с грунтом;
- установление особенностей взаимодействия сооружения с грунтом для рассматриваемого сооружений.

## ЗАДАНИЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

- Микросейсморайонирование площадки строительства, т.е. оценку характера сейсмического воздействия на площадке строительства при отсутствии сооружения.
- Задание расчетного воздействия на сооружение по результатам микросейсморайонирования

# Микросейсморайонирование площадки строительства

- Микросейсморайонирование площадки строительства обычно проводится по инструментальным записям микросейсмов и другим данным для особо ответственных сооружений. Эта работа выполняется специализированными сейсмологическими подразделениями. Для массового строительства приходится пользоваться рекомендациями таблицы 5 СНИП 2-7-81 «Строительство в сейсмических районах» определяющей расчетный уровень колебаний свободной дневной поверхности в зависимости от описательной характеристики грунтов, слагающих верхнюю 10-метровую толщу основания. Использование этой таблицы вызывает две проблемы. Во-первых, во многих случаях отсутствует информация о геологии на площадке строительства до указанной отметки. Во-вторых, любая регламентация толщины принимаемого в расчет слоя грунта вне зависимости от размеров сооружения приводит к парадоксам. Например, при расположении слоя пылеватого песка мощностью  $h=4.99$  м на скальной породе верхняя 10-метровая толща должна относиться к первой категории, а при  $h=5.01$  м – уже к третьей категории.

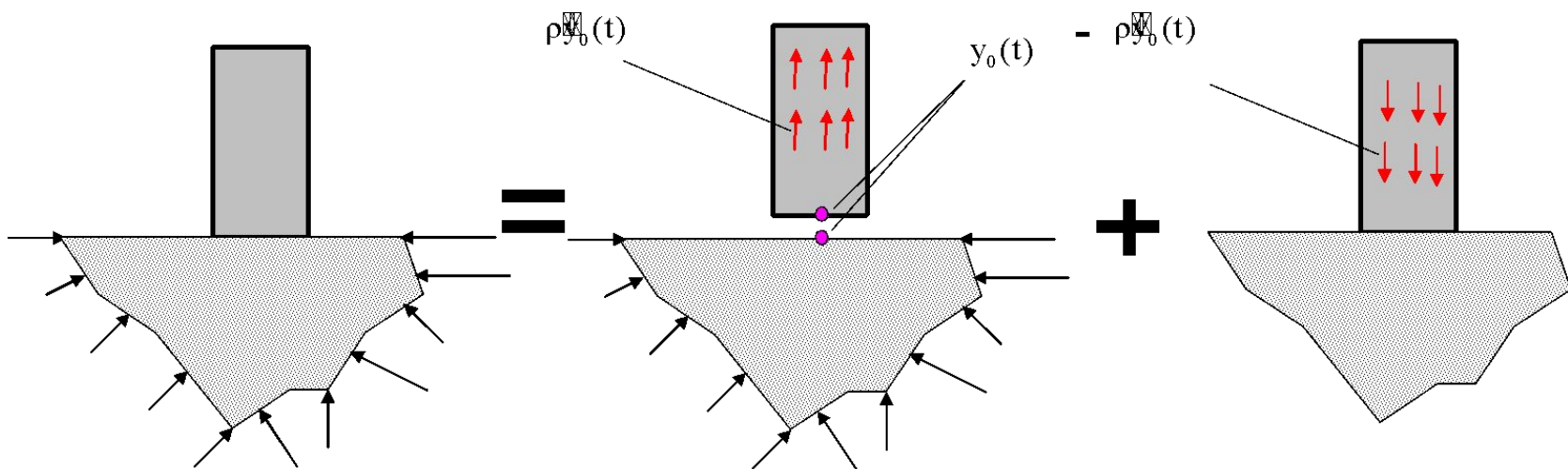


# Проблема задания расчетного воздействия на сооружение

- Проблема задания расчетного воздействия на сооружение состоит в том, что обычно известны расчетная акселерограмма или уровень сейсмического воздействия на дневной поверхности при отсутствии сооружения, которые не могут быть непосредственно использованы в уравнениях колебаний системы. К сожалению, в действующих СНиП эта проблема игнорируется. Воздействие, заданное на основе микросейсмораионирования прикладывается непосредственно к сооружению, а взаимодействие с основанием не учитывается. Как показывают исследования рекомендации СНиП 2-7-81 приемлемы для расчета сравнительно небольших гибких сооружений с периодом основного тона колебаний более 1 сек и для расчета обычных сооружений на плотных грунтах с модулем деформации более 400 кг/см<sup>2</sup>. Даже для таких сооружений взаимодействие сооружения с основанием может иметь принципиальное значение. Так, во время Шемахинского землетрясения 1903 г. В.Вебером описаны два, расположенные рядом, одноэтажных здания построенных соответственно на скале и на двухметровом слое песка. Здание на скале оказалось разрушенным, а на слое песка – получило незначительные повреждения. Такого рода примеры широко описаны в литературе, но не получили отражения при составлении норм. Более того, использование сложившегося в России нормативного подхода к заданию сейсмического воздействия на сооружения приводит в ряде случаев к неверным проектным решениям. На слабых грунтах, отнесенных СНиП 2-7-81 к третьей категории, уровень нагрузок на сооружения повышается и конструкция усиливается. Это первоначально объяснялось тем, что степень повреждаемости сооружений на слабых грунтах традиционно больше, чем на плотных. Однако анализ повреждений показывает, что они связаны в первую очередь с нарушением несущей способности основания, неравномерностью осадок, тиксотропными явлениями в грунте и т.д. Для повышения сейсмостойкости таких сооружений необходимо усиление грунтового основания, а формальное увеличение сейсмической нагрузки по СНиП 2-7-81 приводит к необходимости усиления сооружения.

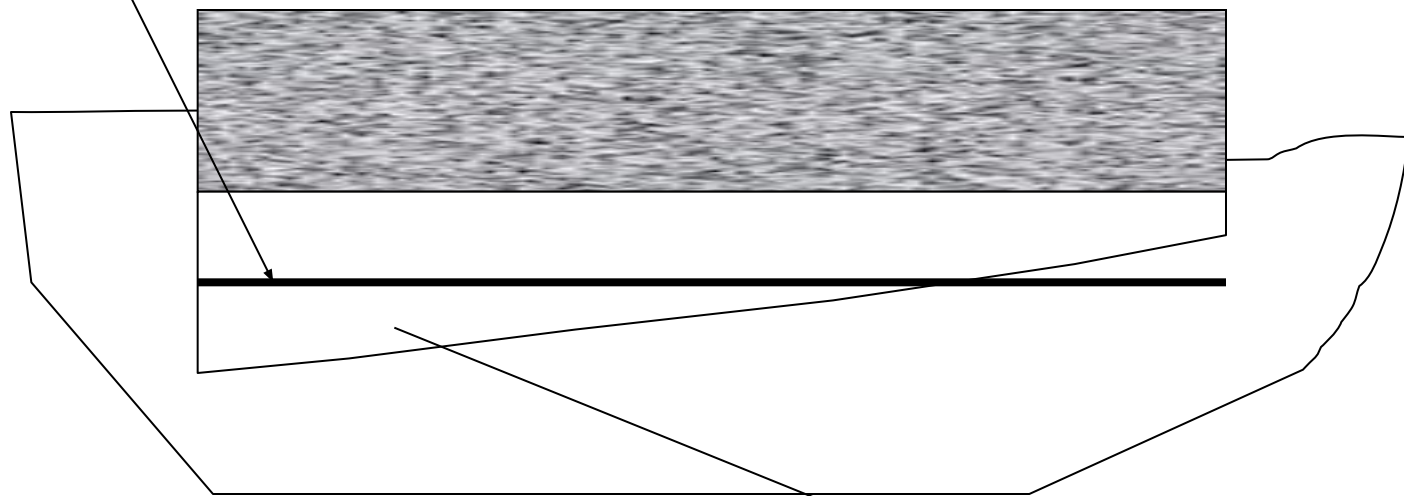
# Проблема задания расчетного воздействия на сооружение

- Принцип декомпозиции Ломбардо-Лятхера



# Протяженные сооружения

Средний уровень ускорений



Эпюра ускорений  
под фундаментом

# Протяженные сооружения

- При расчетах протяженных массивных объектов (больших плотин, АЭС и т. п.) изложенный прием задания сейсмического воздействия может быть обобщен с учетом неоднородности поля ускорений по площади сооружения. В этом случае в качестве внешней нагрузки к сооружению необходимо приложить объемные силы

$$F_x = -\rho \cdot (u_x + z\phi_y - y\phi_x);$$

$$F_y = -\rho \cdot (u_y - z\phi_x - x\phi_z);$$

$$F_z = -\rho \cdot (u_z + z\phi_x - x\phi_y).$$

где  $x$ ,  $y$ ,  $z$  - координаты точки, в которой приложена нагрузка, в правой системе координат с началом в центре тяжести фундамента;  $\rho$  - плотность материала сооружения;  $u_x$ ,  $u_y$ ,  $u_z$  - составляющие смещения основания при отсутствии сооружения, соответственно вдоль осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ;  $\phi_x$ ,  $\phi_y$ ,  $\phi_z$  - углы поворота площадки расположения сооружения относительно осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ .

Если обозначить через  $A_x$ ,  $A_y$  и  $A_z$  расчетные ускорения вдоль осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  в долях ускорения силы тяжести  $g$ , то углы  $\phi_x$ ,  $\phi_y$ ,  $\phi_z$  могут быть оценены по следующим формулам:

$$\phi_x = \frac{A_z}{L} \cdot \frac{l_y}{L} \cdot \frac{\pi^2 g}{3}; \quad \phi_y = \frac{A_y}{L} \cdot \frac{l_x}{L} \cdot \frac{\pi^2 g}{3}; \quad \phi_z = \frac{\sqrt{A_x^2 + A_y^2}}{L} \cdot \frac{l_0}{L} \cdot \frac{\pi^2 g}{3};$$

где  $l_x$  и  $l_y$  - размер подошвы фундамента в направлениях по осям  $X$  и  $Y$ ;  $l_0$  - размер подошвы фундамента в направлении фронта сейсмической волны,  $L$  - длина сейсмической волны.



# ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ

- Модели с малым числом степеней свободы

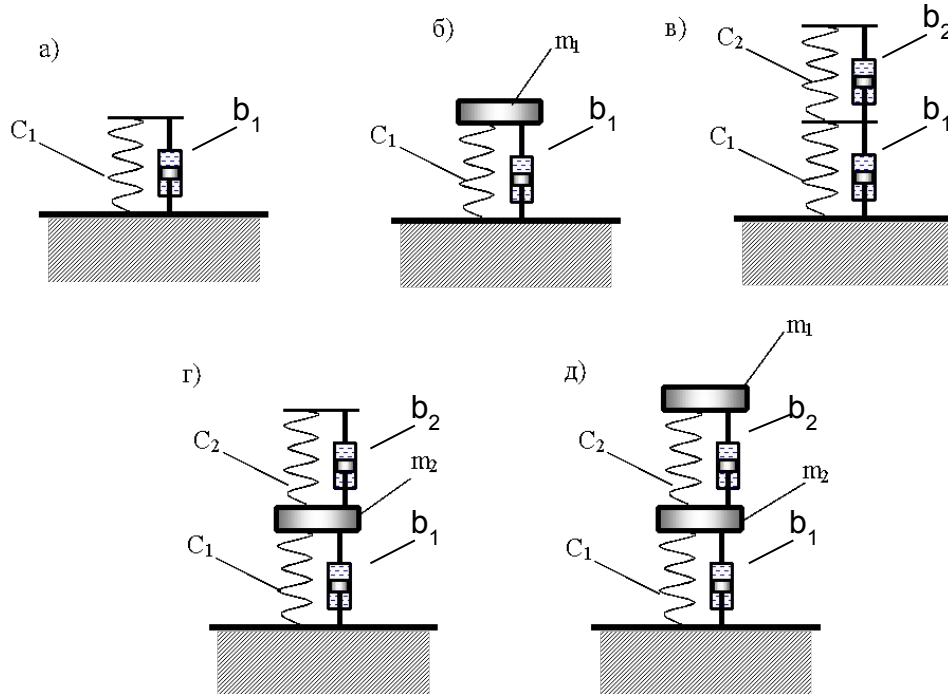


Рис. 4.1 Динамические модели грунтового основания с малым числом степеней свободы

а) модель с  $1/2$  степенью свободы; б) модель с одной степенью свободы;  
в) модель с  $2 \times 1/2$  степенями свободы; г) модель с полутора степенями свободы;

д) модель с двумя степенями свободы;

$C_1$  и  $C_2$  – жесткости пружин, моделирующих упругие свойства грунта;  
 $b_1$  и  $b_2$  – коэффициенты демпфирования элементов, моделирующих рассеяние энергии в грунте;

$m_1$  – присоединенная масса грунта;  $m_2$  – приведенная масса грунта.

# ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ

## Модели с малым числом степеней свободы

- 1. Все модели характеризуются значительным демпфированием, определяемым параметрами  $b_1$  и  $b_2$ . Это связано с тем, что в демпферах модели должно поглотиться столько энергии, сколько уносится фактически в грунт упругими волнами
- 2. Учет инерционности основания не приводит к появлению присоединенной к фундаменту массы грунта  $m_1$ . Инерционность основания обуславливает волновой отток энергии в грунт и величину демпфирования модели. Как показывают исследования [144] присоединенная масса грунта возникает вследствие его неоднородности и гистерезисных потерь в нем.
- 3. Теоретически полученные в настоящее время модели грунтового основания, базирующиеся на ПФ или ИПФ упругого полупространства завышают рассеяние энергии в основание по сравнению с натурным. В связи с этим в инструктивной литературе параметры моделей корректируются по усредненным натурным данным. При этом погрешности моделирования реальных оснований оказываются весьма существенными. По этой причине в нормах многих стран, например, США существует рекомендация о проведении тройного расчета сооружения при значении модуля упругости основания равном  $E/2$ ,  $E$  и  $2E$ , где  $E$  – модуль упругости, полученный по данным изысканий.

# ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ

## Модели с малым числом степеней свободы. СНиП

- В имеющихся нормативных документах жесткость пружины при вертикальных колебаниях  $K_1=K_z$  определяется коэффициентом упругого равномерного сжатия  $C_z$ , который выражен через модуль деформации грунта  $E_0$ :

$$K_z = C_z F; \quad C_z = E_0 \cdot \tilde{b}_0 (1 + \xi)$$

где,  $\xi = \sqrt{\frac{F_0}{F}}$  ( $F_0=10 \text{ м}^2$ ); - коэффициент, принимаемый для песков 1.0, для супесей и суглинков 1.2, для глин и крупнообломочных грунтов 1.5. Аналогично оцениваются жесткости пружин  $K_x$  и  $K_\phi$ , моделирующих сдвиговые и поворотные колебания фундамента

$$K_x = C_x F; \quad C_x = 0.7 C_z; \quad K_\phi = C_\kappa J; \quad C_\phi = 2 C_z;$$

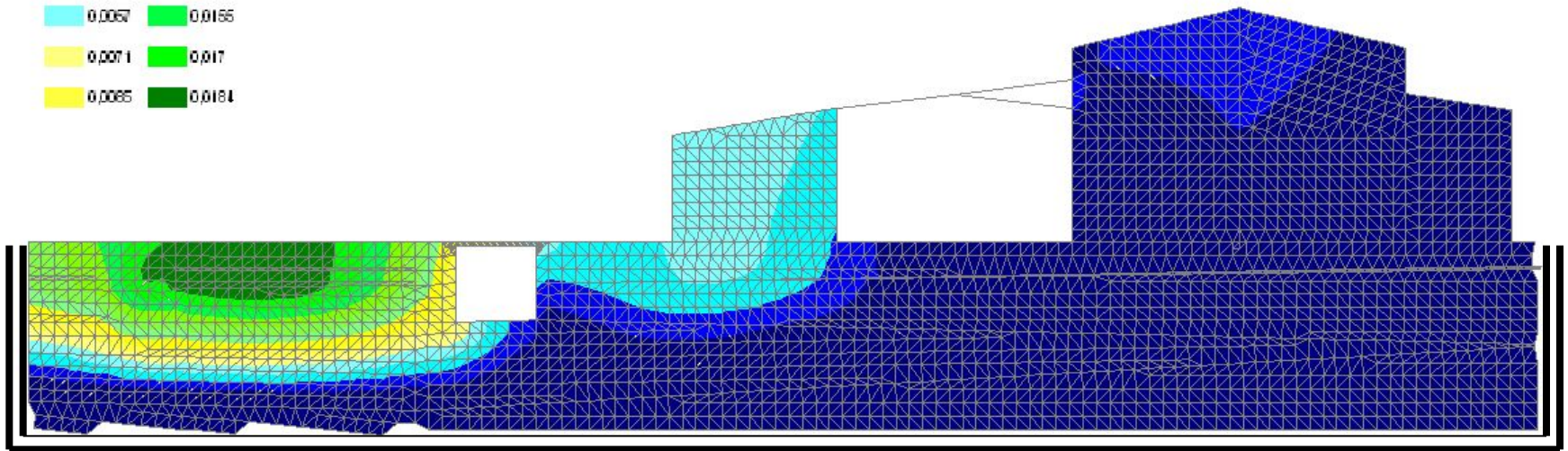
Здесь  $C_x$  – коэффициент равномерного упругого сдвига, а  $C_\phi$  - коэффициент упругого неравномерного сжатия основания,  $F$  – площадь, а  $J$  – момент инерции подошвы фундамента. Параметры демпфирования  $b_z$ ,  $b_x$  и  $b_\phi$  рассматриваемой модели, определяются затуханием в долях критического

$$\xi_z = \frac{0.7}{\sqrt{p_{cp}}}; \quad \xi_x = 0.6 \xi_z; \quad \xi_\phi = 0.5 \xi_z \quad p_{cp} \text{ – среднее давление по подошве фундамента в Тс/м}^2$$

# ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ

- Модели с большим числом степеней свободы

Суммарные перемещения, мм



# ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ

- Модели с большим числом степеней свободы.

- Лисмерова граница

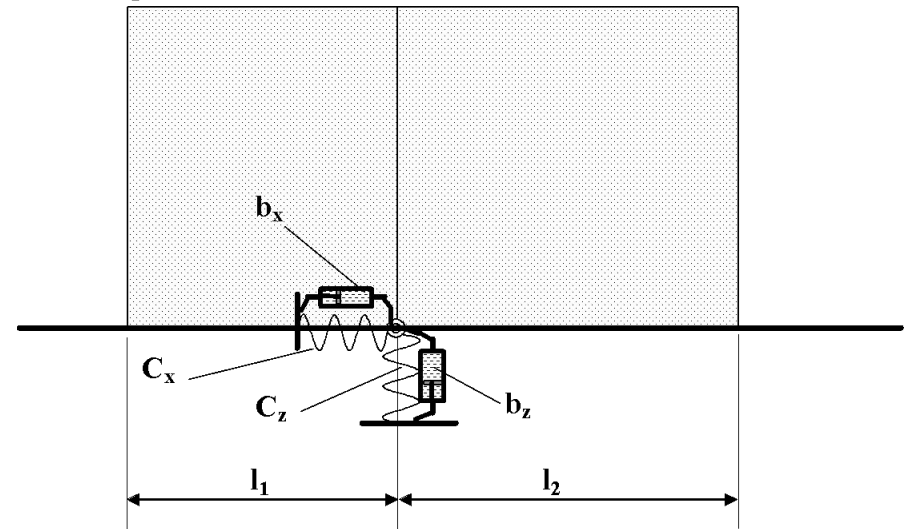
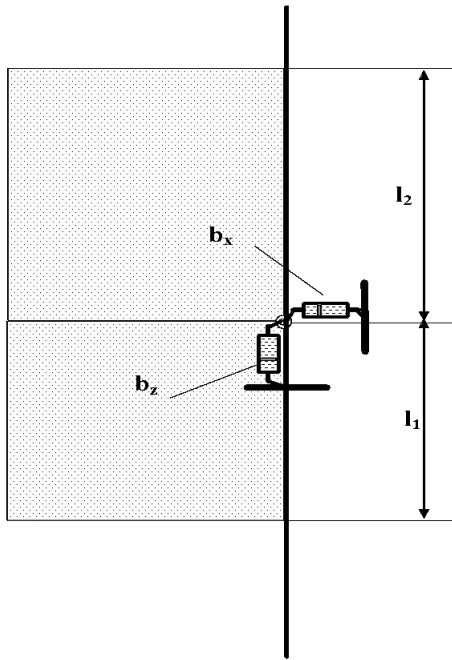


Схема расстановки пружин по нижней границе вырезанной области основания

Схема расстановки демпферов по боковой границе вырезанной области основания

$$\tilde{b}_z = a_1 \sqrt{E\rho} \quad ; \quad \tilde{b}_x = a_2 \cdot \sqrt{E\rho}$$

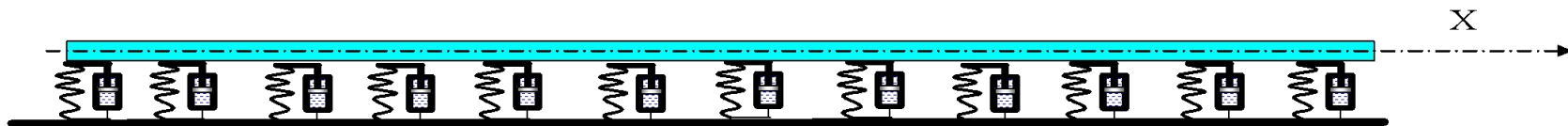


Рис.2.7. Модель нижней отброшенной части основания

# ЗАВИСИМОСТЬ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ОТ ГЛУБИНЫ

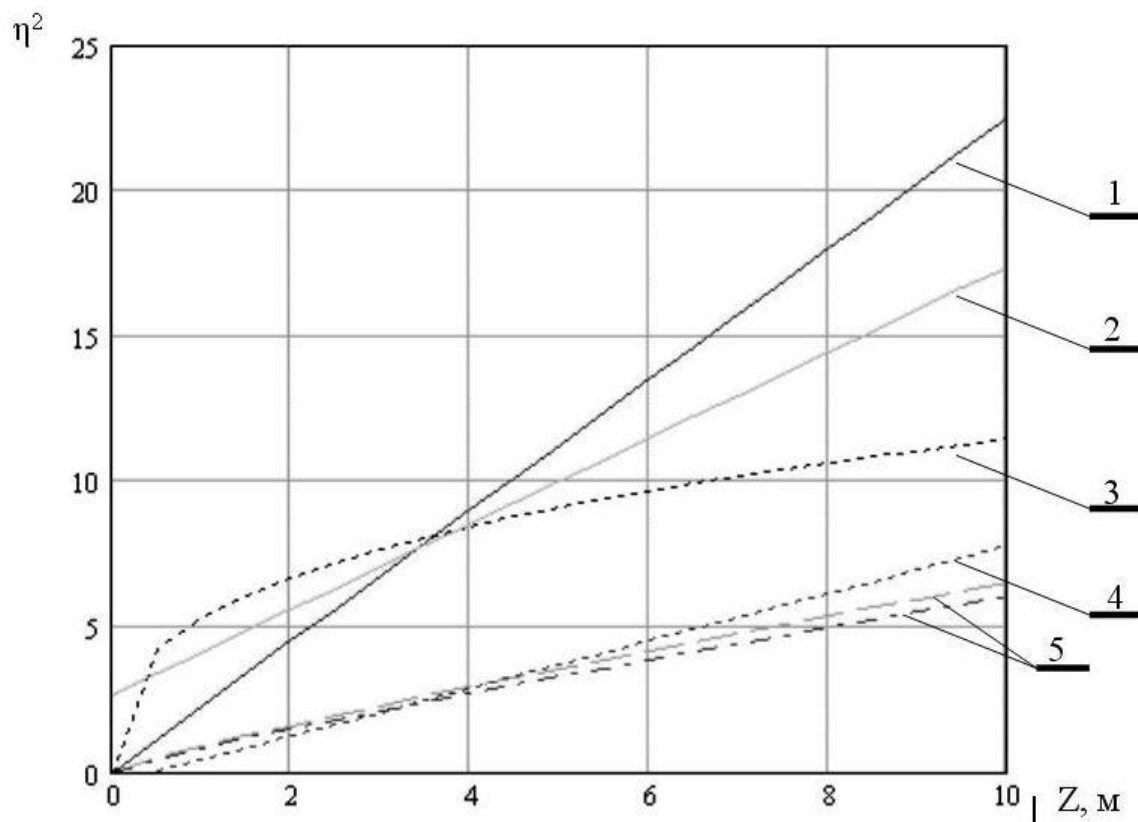


Рис. 2.2. Зависимости  $\eta^2$  от глубины по различным данным  
1 — по СНиП «Свайные фундаменты» и данным [70]; 2 — по данным [106];  
3 — по методическим указаниям [85]; 4 — по экспериментальным данным О.А.Савинова [6]; 5  
— по японским рекомендациям [195]  
(пунктир для воздействия 7 баллов, штрих-пунктир — для воздействия 9 баллов.)

# ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ОСНОВАНИЯ

- 1. По характеристикам демпфирования в отдельных элементах сооружения и в основании строится матрица демпфирования системы по Е.С. Сорокину  **$V_c$**
- 2. Определяются коэффициенты демпфирования по формам колебаний (спектр демпфирования)
- 3. По каждой форме вводится поправка  $K_\psi$  в зависимости от фактического рассеяния энергии по данной форме.

# ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ОСНОВАНИЯ

- Уравнение движения системы «сооружение-основание» имеет вид:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Y}} + \mathbf{B}\dot{\mathbf{Y}} + \mathbf{R}\mathbf{Y} = -\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Y}}_0; \quad \mathbf{B} = \mathbf{X}^{-1}\mathbf{\Lambda}^{1/2}\mathbf{X}\mathbf{B}_c + \mathbf{B}_v$$

$$\ddot{\mathbf{Y}}_0 = \sum_{S=1}^3 \ddot{y}_{oS} \cdot \mathbf{V}_{pS} \quad - \text{вектор кинематических возбуждений};$$

$\ddot{y}_{oS}$  – расчетная акселерограмма в направлении “S” (S принимает значение x, y или z);

$\mathbf{Y} = \{y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n\}$  – вектор обобщенных координат;  $\mathbf{V}_{pS}$  – вектор проекций воздействия на направления обобщенных координат. Обычно для масс сооружения соответствующие элементы вектора  $\mathbf{V}_{pS}$  принимаются равными 1, а для масс грунтового массива (ящика) элемент вектора  $\mathbf{V}_{pS}$  принимаются равными 0.

Матрицы  $\mathbf{R}$  и  $\mathbf{M}$  строятся стандартными методами строительной механики. Для построения матрицы  $\mathbf{B}$  первоначально строится матрица  $\mathbf{B}_c$  гистерезисного демпфирования по Е.С.Сорокину. Матрица  $\mathbf{B}_c$  строится теми же методами и с использованием тех же программных средств, что и матрица жесткости  $\mathbf{R}$ , но с заменой модулей упругости элементов конструкции  $E_k$  на соответствующие произведения  $\gamma_k E_k$ , где  $\gamma_k$  – коэффициент неупругого сопротивления k-го элемента конструкции.

$\mathbf{X}$  и  $\mathbf{\Lambda}$  – соответственно матрица собственных векторов и диагональная матрица собственных чисел  $[\dots \lambda_i \dots]$  матрицы  $\mathbf{M}^{-1}\mathbf{R}$ ;  $\mathbf{B}_v$  – матрица вязкого демпфирования, обусловленная вязкими демпферами акустической границы.



# ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ

## СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ОСНОВАНИЯ

- Расчетная сейсмическая нагрузка

$$S_{ij} = K_1 Q_i A \beta_j K_{\psi}^{(j)} \eta_{ij} \quad K_{\psi}^{(j)} = \sqrt{\frac{\gamma_{\text{э}}}{\gamma_j}}$$

Коэффициент  $\gamma_j$ , учитывающий поглощение энергии, определяется в зависимости от коэффициента неупругого сопротивления  $\gamma_j$  по  $j$ -ой форме колебаний, категории грунтов и периода  $j$ -го тона колебаний конструкции;  $\gamma_{\text{э}} = 0.1; 0.16$  и  $0.22$  соответственно для грунтов I, II и III категорий. Эталонные значения  $\gamma_{\text{э}}$  подобраны так, чтобы расчетные нагрузки на объекты массового строительства – четырех - пятиэтажные здания, рассчитанные по предлагаемой методике и по СНиП соответствовали друг другу. При модификации спектральных кривых эти коэффициенты необходимо корректировать

$$\gamma_j = \frac{T_j^2}{4\pi^2} \frac{\sum_{s=1}^{nf} \sum_{k=1}^{nf} b_{ks}^{(r)} X_{ij} X_{si}}{\sum_{k=1}^n X_{kj}^2 m_k} + \frac{T_j}{2\pi} \cdot \frac{\sum_{s=1}^{nf} \sum_{k=1}^{nf} b_{ks}^{(B)} X_{ij} X_{si}}{\sum_{k=1}^n X_{kj}^2 m_k}$$

# ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ПРОЕКТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

<p>ЛИРА SCAD MicroFE</p>	<p>Позволяют задать одно осредненное демпфирование на всю конструкцию в целом. Расчет на заданное воздействие с приближенным разложением по формам колебаний</p>
<p>COSMOS MIDAS ANSIS</p>	<p>Позволяют задать «групповое» демпфирование. Определяют спектр демпфирования. Позволяют вести расчет на заданное воздействие пошагово без разложения по формам колебаний. <b>COSMOS</b> позволяет задать Лисмерово демпфирование.</p>

# **ПОЧЕМУ РАСЧЕТ ПО АКСЕЛЕРОГРАММАМ ХУЖЕ РАСЧЕТА ПО ЛСМ**

- 1. Высокая стоимость, продолжительность и трудоемкость прогноза расчетных спектров и акселерограмм**
- 2. Безобразное качества сейсмологических прогнозов**
- 3. Сложность использования для типового проектирования**
- 4. Использование единственного расчетного воздействия , как единичная реализация случайного процесса, только дезориентирует проектировщика.**
- 5. Пакет расчетных акселерограмм (ПРА) требует проведения соответствующего числа расчетов. Каждый расчет несет огромную информацию, которую в полном объеме практически невозможно обработать**

# ОБЩИЕ КАЧЕСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СООРУЖЕНИЯ С ГРУНТОМ

- **Параметры взаимодействия**

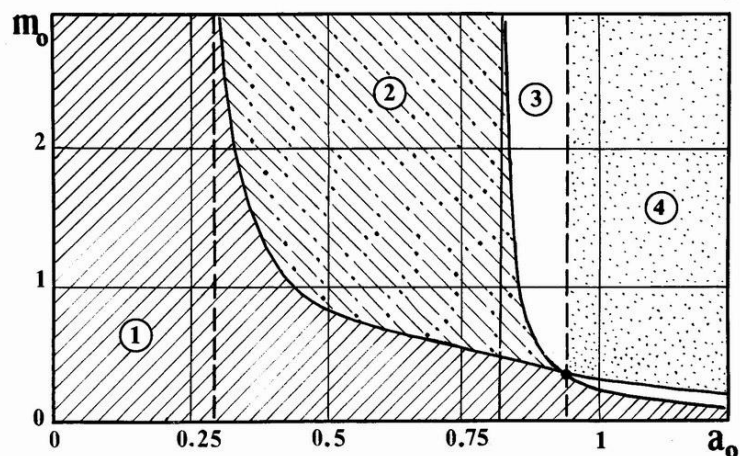
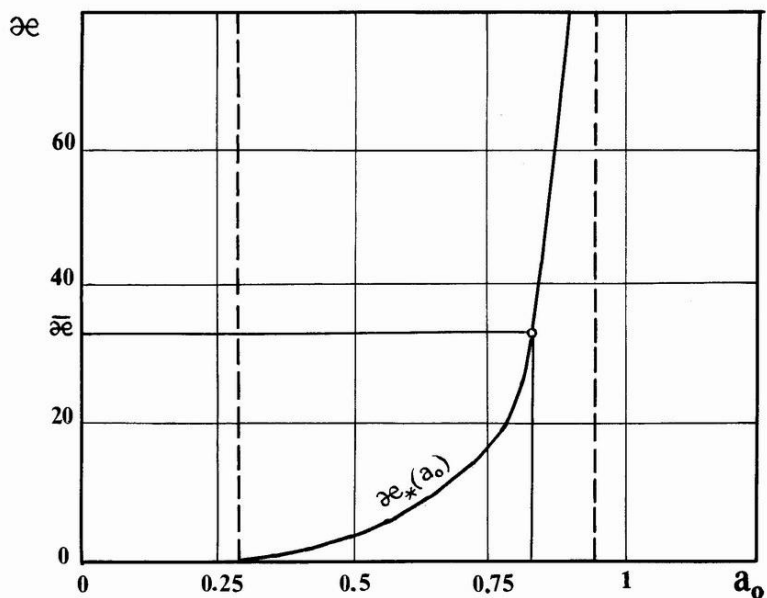
$$a_0 = \frac{\omega r}{v_2}; \quad m_0 = \frac{m}{\rho r^3}; \quad \kappa = \frac{K_x h^2}{K_\phi} \quad r = \sqrt{\frac{F}{\pi}}$$

где  $\omega$  — частота основного тона колебаний сооружения на жестком основании;  $F$  — площадь подошвы фундамента;  $\rho$  — плотность грунта основания;  $K_\phi$  и  $K_x$  — поворотная и сдвиговая жесткости фундамента;  $h$  — расстояние от уровня подошвы фундамента до его центра тяжести;  $v_2$  — скорость распространения волн сдвига в основании.

Помимо указанных параметров возможно еще использование относительной жесткости сооружения  $C_0 = C/G \cdot r$ , где  $C$  — жесткость сооружения, а  $G$  — модуль сдвига основания.

$$a_0 = \sqrt{\frac{C_0}{m_0}}$$

# ОБЩИЕ КАЧЕСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СООРУЖЕНИЯ С ГРУНТОМ



**Зона 1** характеризуется значениями  $\varepsilon_0$ . В этой зоне обратное воздействие сооружения на основание не существенно.

**В зоне 2** процессы взаимодействия с основанием также не существенны. Эта зона ограничивается сверху кривой  $\varepsilon_*(a_0)$  при  $a_0 < 0.85$ , а при  $a_0 > 0.85$  — ограничивается сверху кривой  $\varepsilon_0 = 30$ .

**Зона 3** ограничена слева значением  $a_0 = 0.3$  и снизу кривой  $\varepsilon_*(a_0)$ . Здесь взаимодействие сооружения с основанием всегда существенно.

**Зона 4** заключена между кривыми  $\varepsilon_*(a_0)$  и  $\varepsilon_0 = 30$ ; в ней необходим учет обратного воздействия сооружения на грунт лишь при  $a_0 > 0.85$ .

**В зоне 5**, расположенной между кривой  $\varepsilon_*(a_0)$  и линией  $\varepsilon_0 = 30$  взаимодействие с грунтом не существенно лишь при  $a_0 < 0.85$ .

Наконец, **в зоне 6**, заключенной между кривыми  $\varepsilon_*(a_0)$  и  $\varepsilon_0 = 30$  влияние сооружения на основание существенно при  $a_0 < 0.85$ .

# ПРИМЕР

- Пятиэтажное жилое здание с фундаментом мелкого заложения. Высота здания 15 м. Общая масса здания 3600 т. Площадь несущих стен составляет 6 м<sup>2</sup>. Модуль сдвига материала несущих стен  $G=12000$  МПа. Общая площадь фундамента – 432 м<sup>2</sup>. Расчет проведен для двух вариантов грунта основания – песков средней плотности с модулем деформации  $E_0=30$  МПа и на полускальном основании с  $E_0=1000$  МПа.

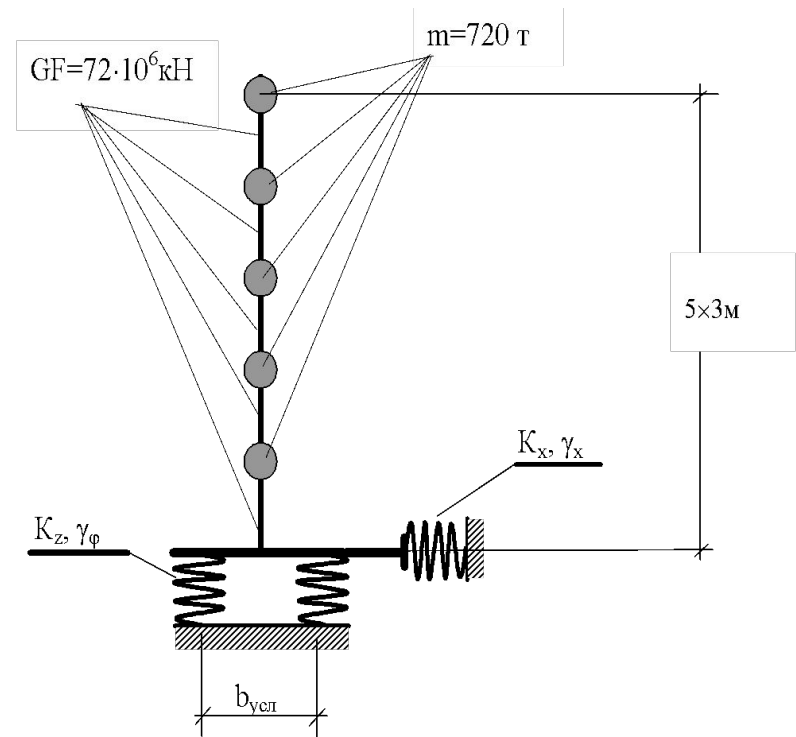


Рис.4. Расчетная схема 5-этажного здания

# ПРИМЕР

Спектральные характеристики системы при  $E_0=30\text{МПа}$

№ формы	1а	2а	3а	4а	5а
Период $T, \text{с}$	1.98514e-01а	6.07900e-02а	2.95959e-02а	2.14500e-02а	1.81517e-02а
Частота $k, \text{с}^{-1}$	3.16512e+01а	1.0335e+02а	2.1230e+02а	2.9292e+02а	3.4615e+02а
Коэф. неупругого сопротивления $\gamma$	5.14507e-01а	3.21516e-01а	1.39329e-01а	1.13259e-01а	1.02197e-01а

¶

⊕ Спектральные характеристики системы при  $E_0=1000\text{МПа}$

№ формы	1а	2а	3а	4а	5а
Период $T, \text{с}$	1.424e-01а	4.668e-02а	2.709e-02а	2.074e-02а	1.802e-02а
Частота $k, \text{с}^{-1}$	4.41e+01а	1.345e+02а	2.31e+02а	3.02e+02а	3.48e+02а
Коэф. неупругого сопротивления $\gamma$	1.14e-01а	1.182e-01а	1.105e-01а	1.051e-01а	1.013e-01а

¶

# ПРИМЕР

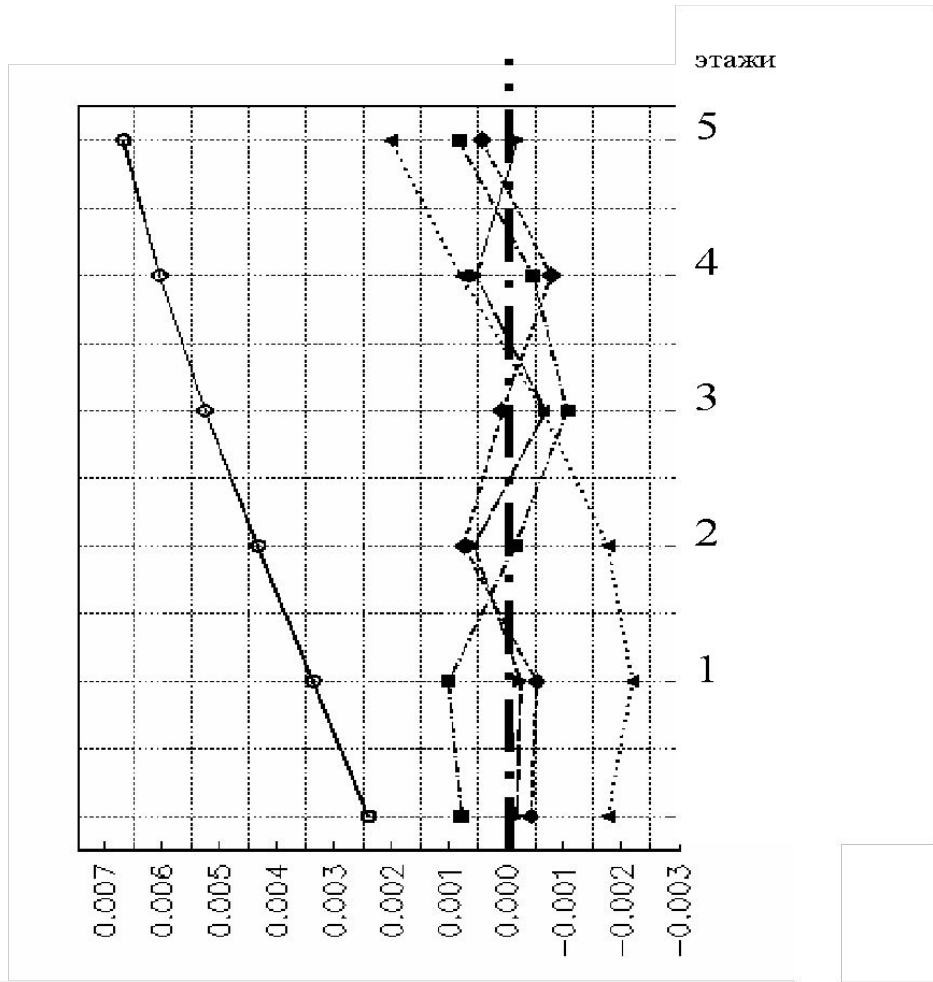


Рис.5.. Формы колебаний здания при  $E_0=30\text{МПа}$   
 ○ – первая форма колебаний; ◻ - вторая форма колебаний  
 ◻ - третья форма колебаний; ◆ -четвертая форма колебаний; ◻ - пятая форма колебаний

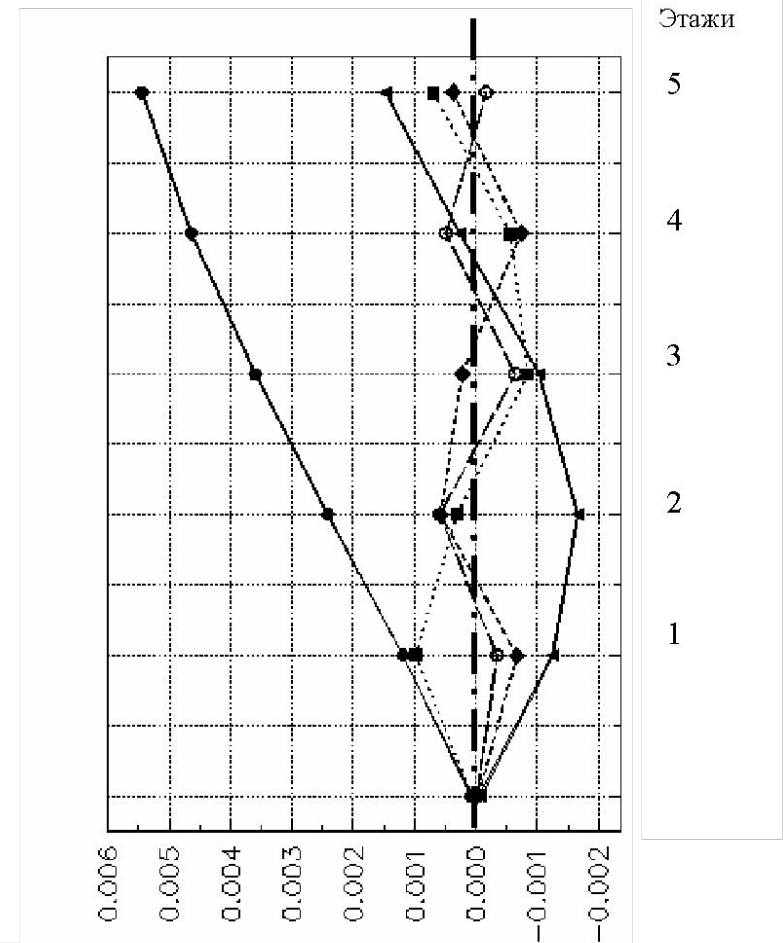


Рис 7. Формы колебаний здания при  $E_0=1000\text{МПа}$   
 ● - первая форма колебаний; ◻ - вторая форма колебаний;  
 ◻ - третья форма колебаний; ◆ - четвертая форма колебаний;  
 ○ - пятая форма колебаний



# ПРИМЕР

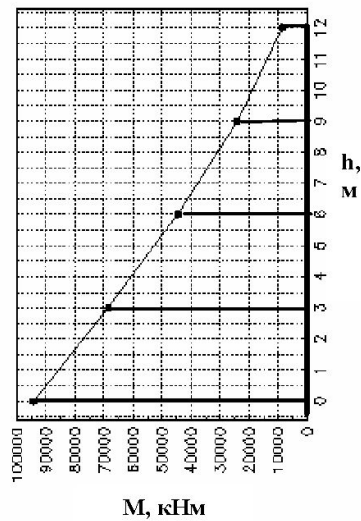
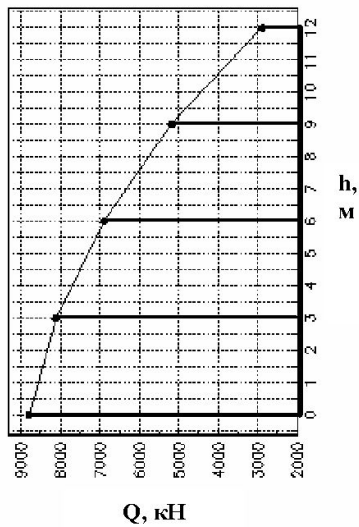


Рис. 8. Эпюры перерезывающих сил и изгибающих моментов по высоте здания при  $E_0=1000$  МПа

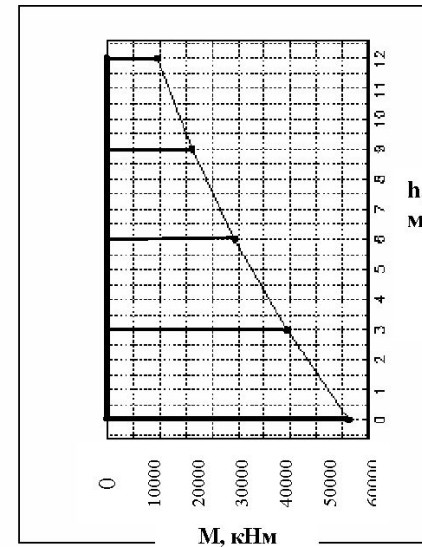
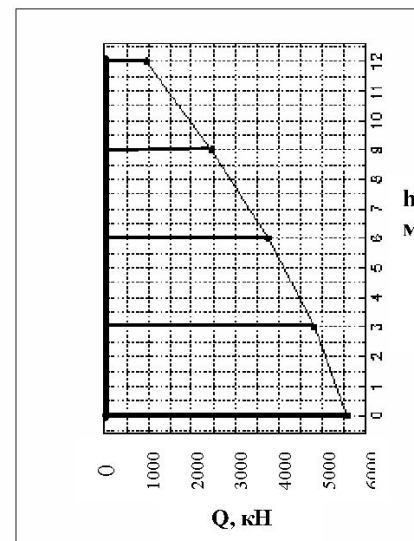
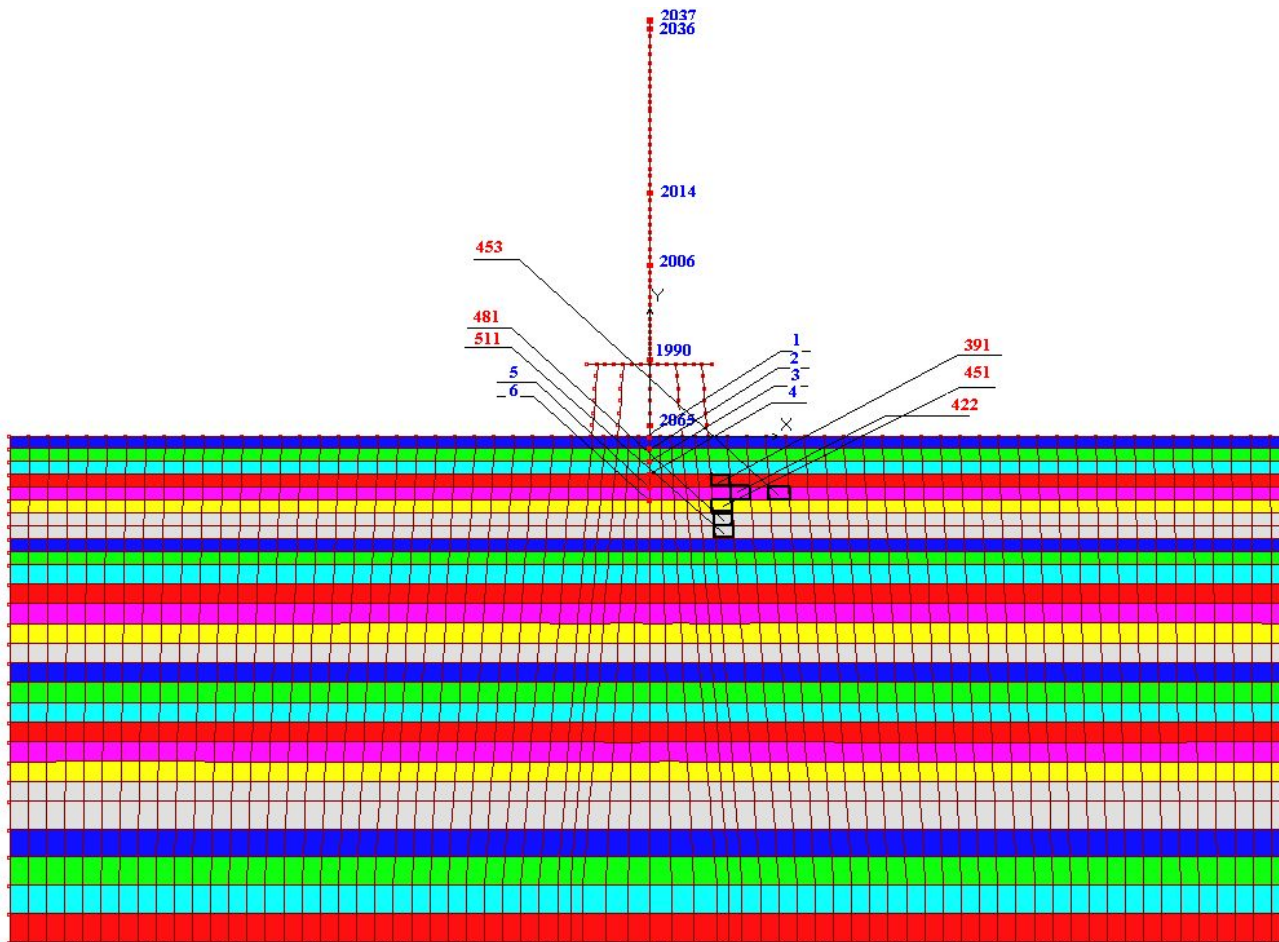


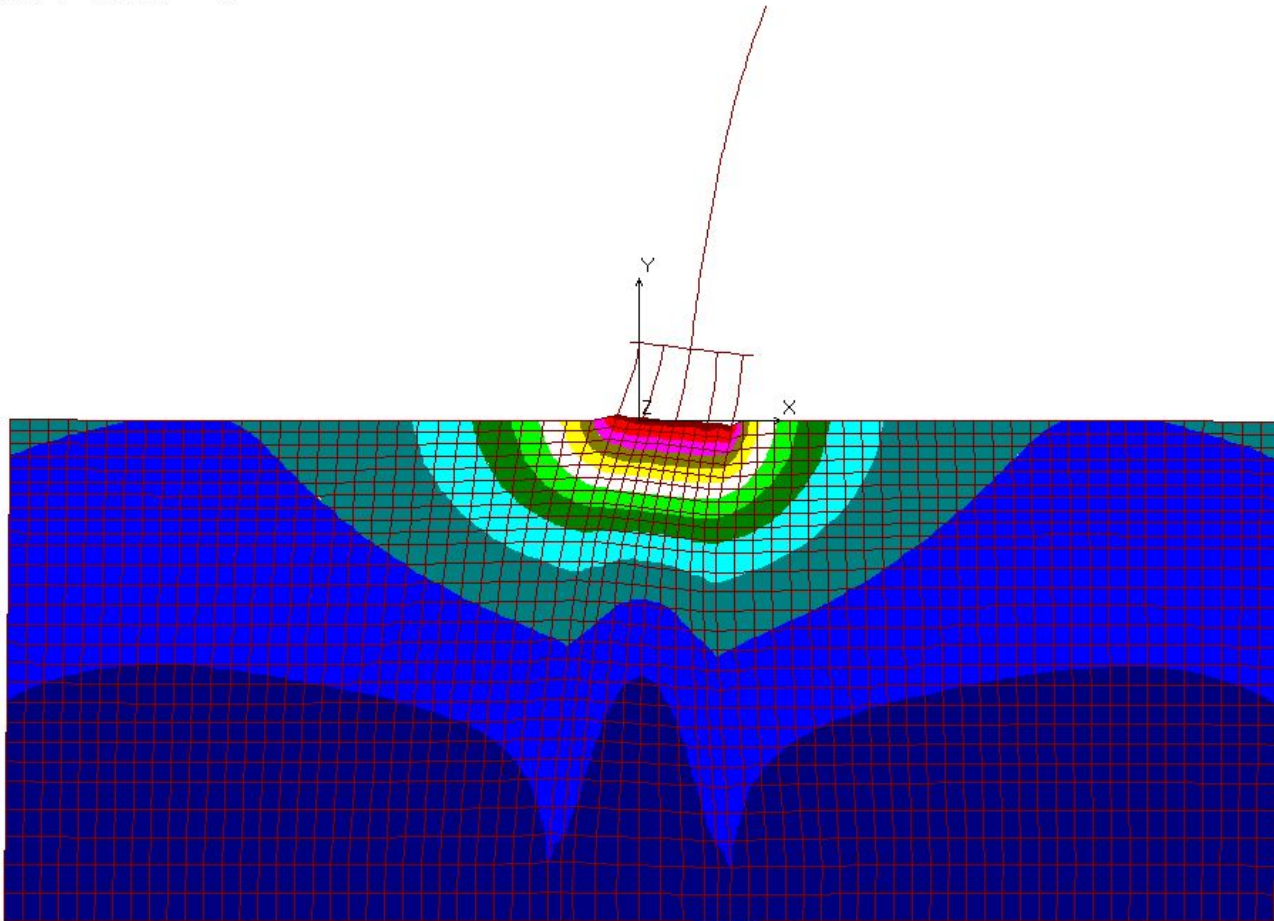
Рис. 6. Эпюры перерезывающих сил и изгибающих моментов по высоте здания при  $E_0=30$  МПа

# Расчётная схема опоры и грунтового основания



# Форма № 1 собственных колебаний опоры

F\_Mode=1 0.517897 Hz



# СЕЙСМОСТОЙКИЕ ФУНДАМЕНТЫ НА СЛАБЫХ ГРУНТАХ

## Искусственные основания

- Важнейшим для инженерной практики вопросом остается **назначение расчетного уровня сейсмического воздействия на здание**, возведенное на искусственном основании. Этот вопрос практически не затрагивается в исследованиях по механике грунтов и фундаментостроению. В последнем проекте норм Туркмении предлагается снижать расчетную нагрузку на 1 балл, т.е. в 2 раза. Это в целом справедливо для легких сооружений. По графику на рис. 2 нагрузка снижается в 1.7 раза. Для массивных сооружений расчетные ускорения основания при отсутствии сооружения снизятся, но нагрузка на сооружение возрастет. Для ответа на поставленные вопросы требуется серьезное развитие инженерных методов учета динамического взаимодействия сооружения с основанием.
- Мало исследован вопрос использования **других типов уплотненных грунтовых подушек**. Так, при строительстве на вулканических пеплах производится вытрамбовка котлована и засыпка его уплотненным грунтом, например, тем же пеплом. Его модуль деформации в 3-4 раза выше, чем пепла естественного залегания, но в 3-4 раза ниже, чем у песчано-гравийной смеси.

# СЕЙСМОСТОЙКИЕ ФУНДАМЕНТЫ НА СЛАБЫХ ГРУНТАХ

## Искусственные основания

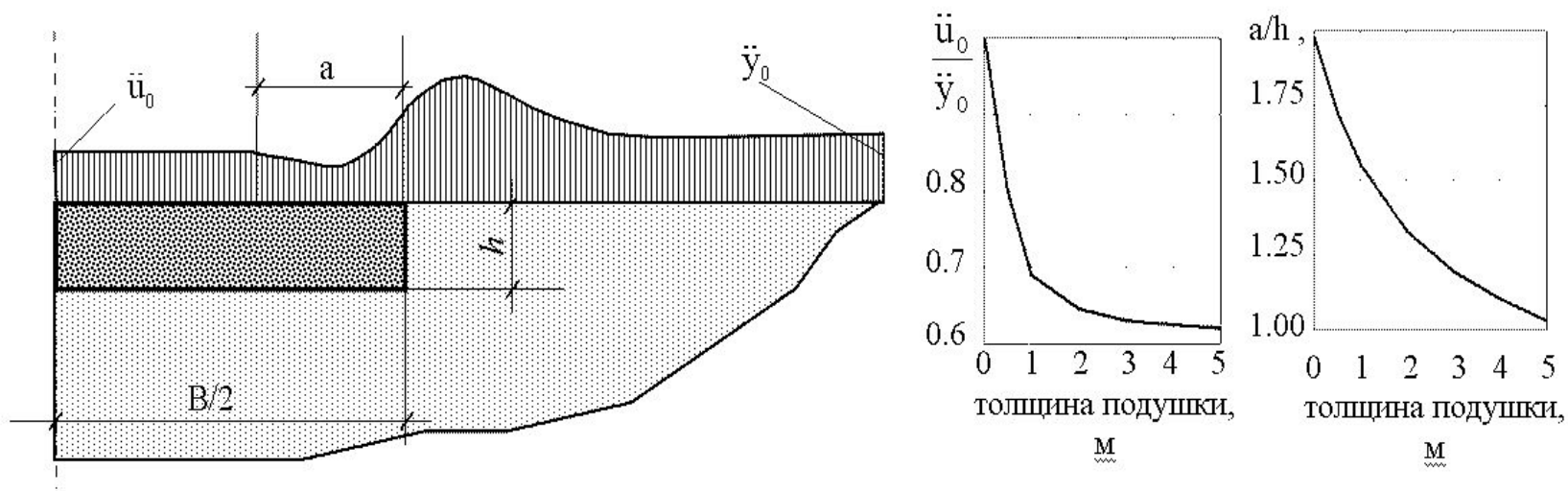


Рис.2. Характер ускорений поверхности основания в зоне грунтовой подушки

# СЕЙСМОСТОЙКИЕ ФУНДАМЕНТЫ НА СЛАБЫХ ГРУНТАХ

Свайный ростверк с промежуточной грунтовой подушкой

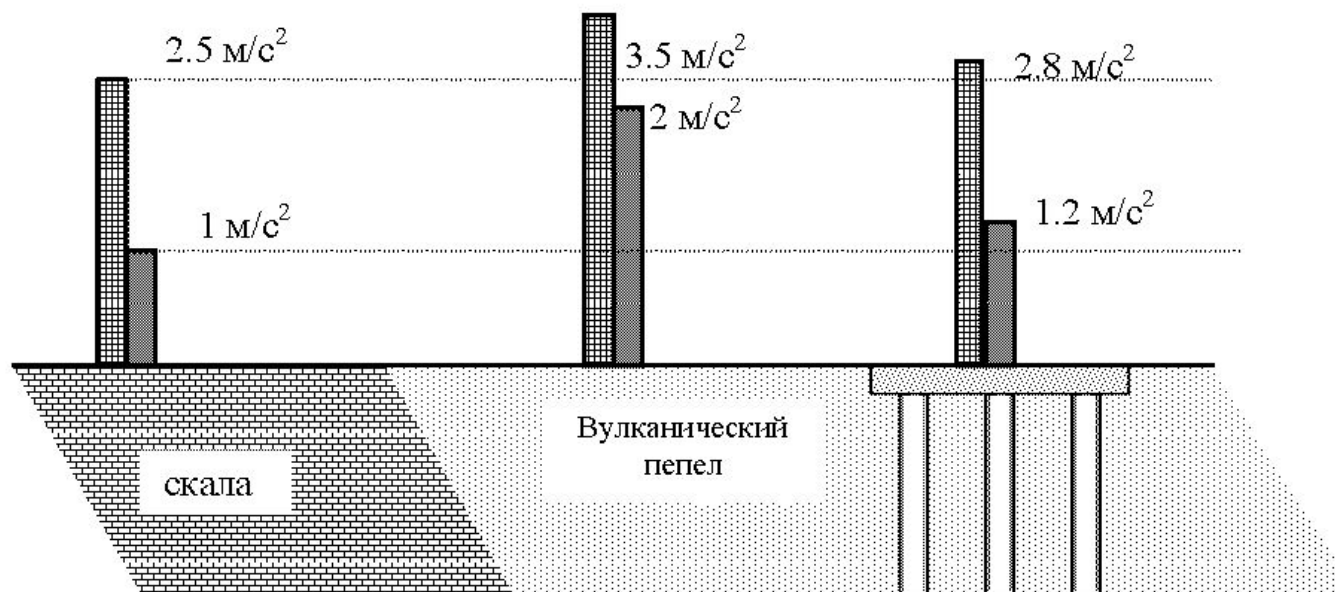


Рис.3. Характер снижения ускорений на дневной поверхности (правый столбик) и верхнем этаже (левый столбик) 4-х этажного здания