

# **ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ РАСЧЕТНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

# СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСЧЕТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

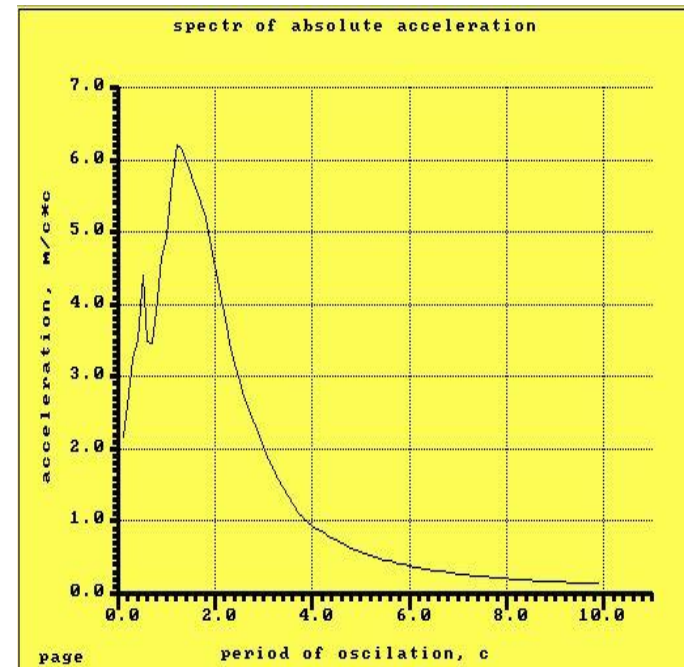
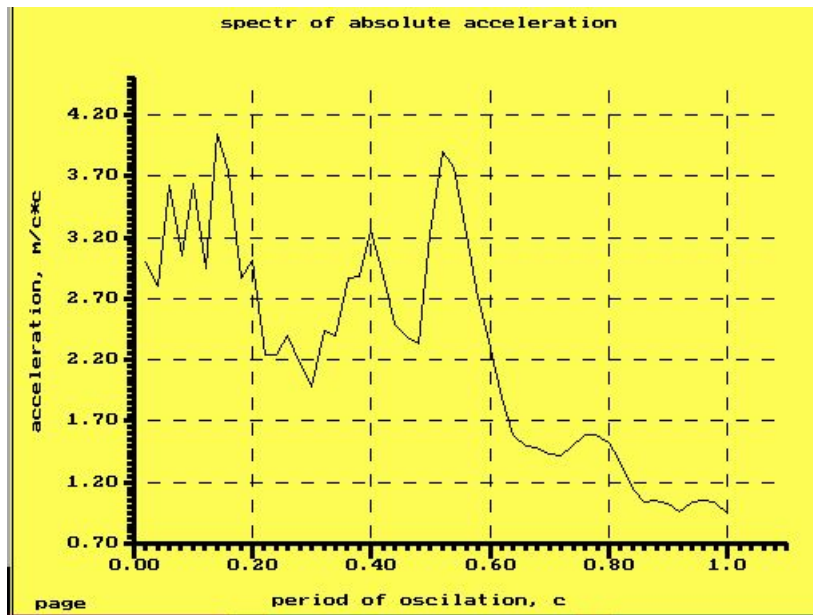
- А) Использование набора акселерограмм прошлых землетрясений
- Б) Генерация ансамбля узкополосных процессов (метод Я. М.Айзенберга)
- В) Единственная расчетная акселерограмма для площадки строительства, представляемая сейсмологами
- Г) Единственная расчетная акселерограмма сгенерированная по заданному спектру
- Д) Универсальный короткий временной процесс, используемый для всех сооружений (модели Костарева, Аубакирова, Эпштейна и др)
- Е) Единственная акселерограмма, сгенерированная для рассматриваемого сооружения
- Ж) Набор случайных воздействий с заданным спектром

# Использование набора акселерограмм прошлых землетрясений

- Применение пакета акселерограмм прошлых землетрясений в идеале позволяет учесть все свойства и особенности реальных сейсмических колебаний. Однако описываемый метод не позволяет учесть особенности сейсмического воздействия на рассматриваемой площадке, поскольку для этого надо вести наблюдения десятки тысяч лет. Поэтому для формирования пакета используют записи прошлых землетрясений в других, по-возможности, похожих местах, а также записи слабых землетрясений на рассматриваемой площадке. В результате остается не ясным, не остались ли неучтенными некоторые важные свойства землетрясений в данном расчетном пакете. Важно отметить, что рассматриваемый метод не учитывает особенности работы конкретного сооружения, и неполнота пакета может приводить к неконсервативным оценкам сейсмостойкости. Для компенсации указанных недостатков необходимо использовать как можно более обширный пакет акселерограмм, а затем усреднять результат по выборке. Однако использование в расчетах большого числа акселерограмм весьма затруднительно, и часто авторы используют данные 5-6 записей, что является не достаточным для избавления от случайности результата

# Использование набора акселерограмм прошлых землетрясений

О ШИРОКОПОЛОСНОСТИ И УЗКОПОЛОСНОСТИ ПРОЦЕССА



Спектры ускорений землетрясений в Газли (слева) и Бухаресте (справа)

# Генерация ансамбля узкополосных процессов

- Методы генерации синтетических акселерограмм в виде узкополосных случайных процессов, т.е. процессов, имеет одну преобладающую частоту, предлагались многими авторами в нашей стране и за рубежом. Учет лишь одной преобладающей частоты воздействия не соответствует реальным землетрясениям. Практически во всех спектрах реальных акселерограмм присутствует несколько пиков.

# Генерация ансамбля узкополосных процессов

## НЕДОСТАТОК УЗКОПОЛОСНОСТИ

- В США для расчета АЭС ограничивают возможность сосредоточения энергии на одной частоте, вводя для синтетической акселерограммы следующее условие

$$\frac{y_{\max} \cdot \overline{y}_{\max}}{\overline{y}_{\max}^2} = 5$$

# Генерация ансамбля узкополосных процессов

## НЕДОСТАТОК УЗКОПОЛОСНОСТИ

- Неоднозначность процессов
  - $a \cdot \sin 10t + 0.1a \cdot \sin 20t$
  - $a \cdot \sin 10t + 0.1a \cdot \sin(20t + \phi)$

# Генерация ансамбля узкополосных процессов

## ОСНОВНОЙ НЕДОСТАТОК

- При использовании традиционных статистических узкополосных моделей сейсмического воздействия невозможно добиться одновременно соответствия ускорения и смещения их реальным значениям. Этот дефект делает их неприемлемыми для анализа проведения кинематических расчетов, в частности, для расчета систем сейсмоизоляции, расчета деформаций сооружения при МРЗ, расчета хода подвижных опорных частей мостов



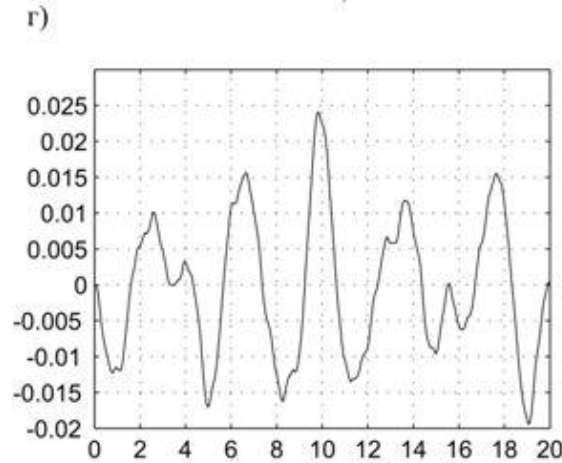
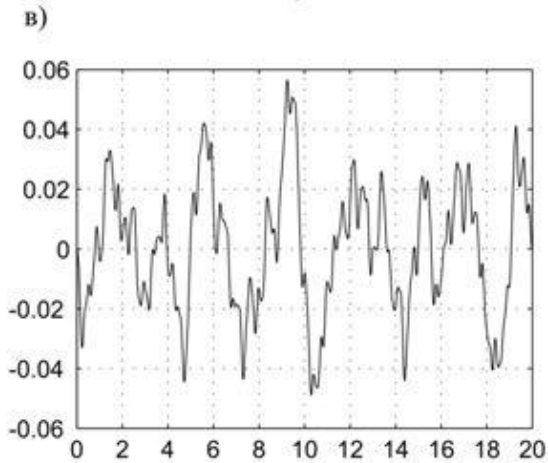
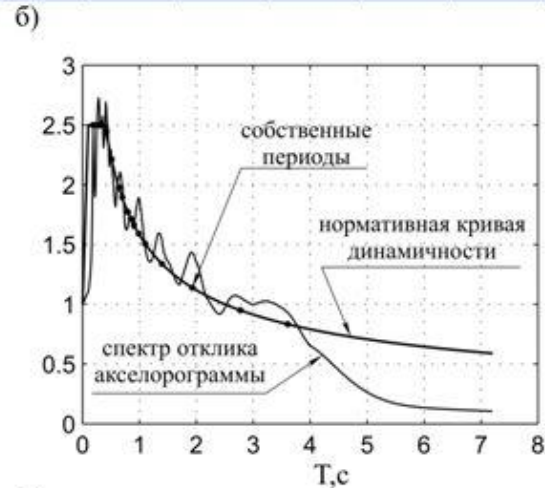
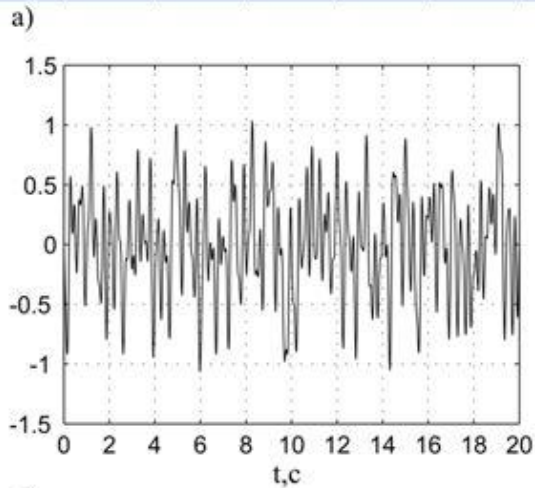
# **ЕДИНСТВЕННАЯ РАСЧЕТНАЯ АКСЕЛЕРОГРАММА ДЛЯ ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

- Это способ дезинформировать проектировщика и\или заказчика**

# ЕДИНСТВЕННАЯ РАСЧЕТНАЯ АКСЕЛЕРОГРАММА СГЕНЕРИРОВАННАЯ ПО ЗАДАННОМУ НОРМАТИВНОМУ СПЕКТРУ

- В связи с задачами типового проектирования, а также при отсутствии спектра, характерного для площадки строительства, в инженерной практике появился другой подход генерации единственной акселерограммы. Эта акселерограмма генерируется так, чтобы ее спектр совпадал с кривой динамичности СНиП
- **Основной недостаток рассматриваемого подхода.**
  - Он активно использует известную ошибку о том, что кривая динамичности СНиП является спектральной кривой. На самом деле кривая динамичности СНиП в значительной мере корректирует ошибки в задании расчетных ускорений, которые существенно зависят от частоты воздействия

# ЕДИНСТВЕННАЯ РАСЧЕТНАЯ АКСЕЛЕРОГРАММА СГЕНЕРИРОВАННАЯ ПО ЗАДАННОМУ НОРМАТИВНОМУ СПЕКТРУ

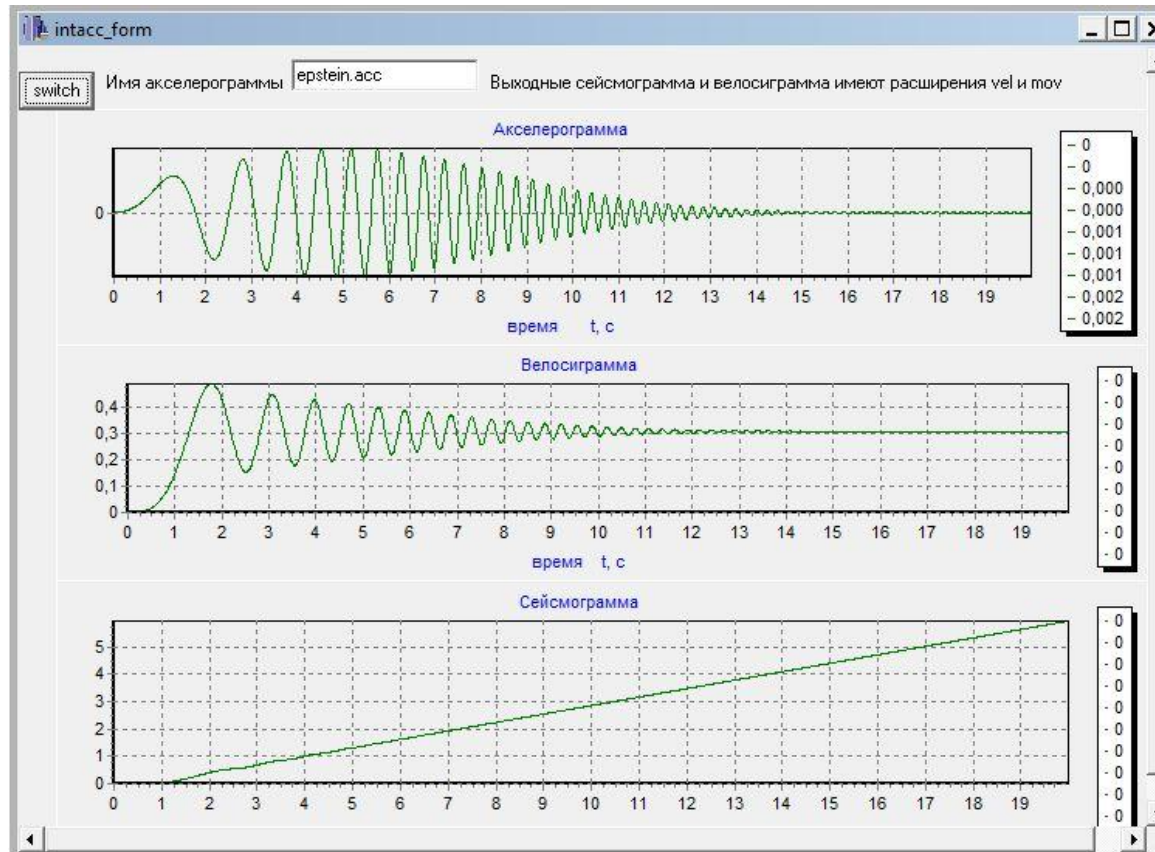


*Результаты  
генерации  
акселерограммы по  
методу Р.Н.Гузеева*

*а) расчетная  
акселерограмма  
б) спектр ускорений  
расчетной  
акселерограммы  
в) расчетная  
велосиграмма  
г) расчетная  
сейсмограмма*

# УНИВЕРСАЛЬНЫЙ КОРОТКИЙ ВРЕМЕННОЙ ПРОЦЕСС, ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ ДЛЯ ВСЕХ СООРУЖЕНИЙ

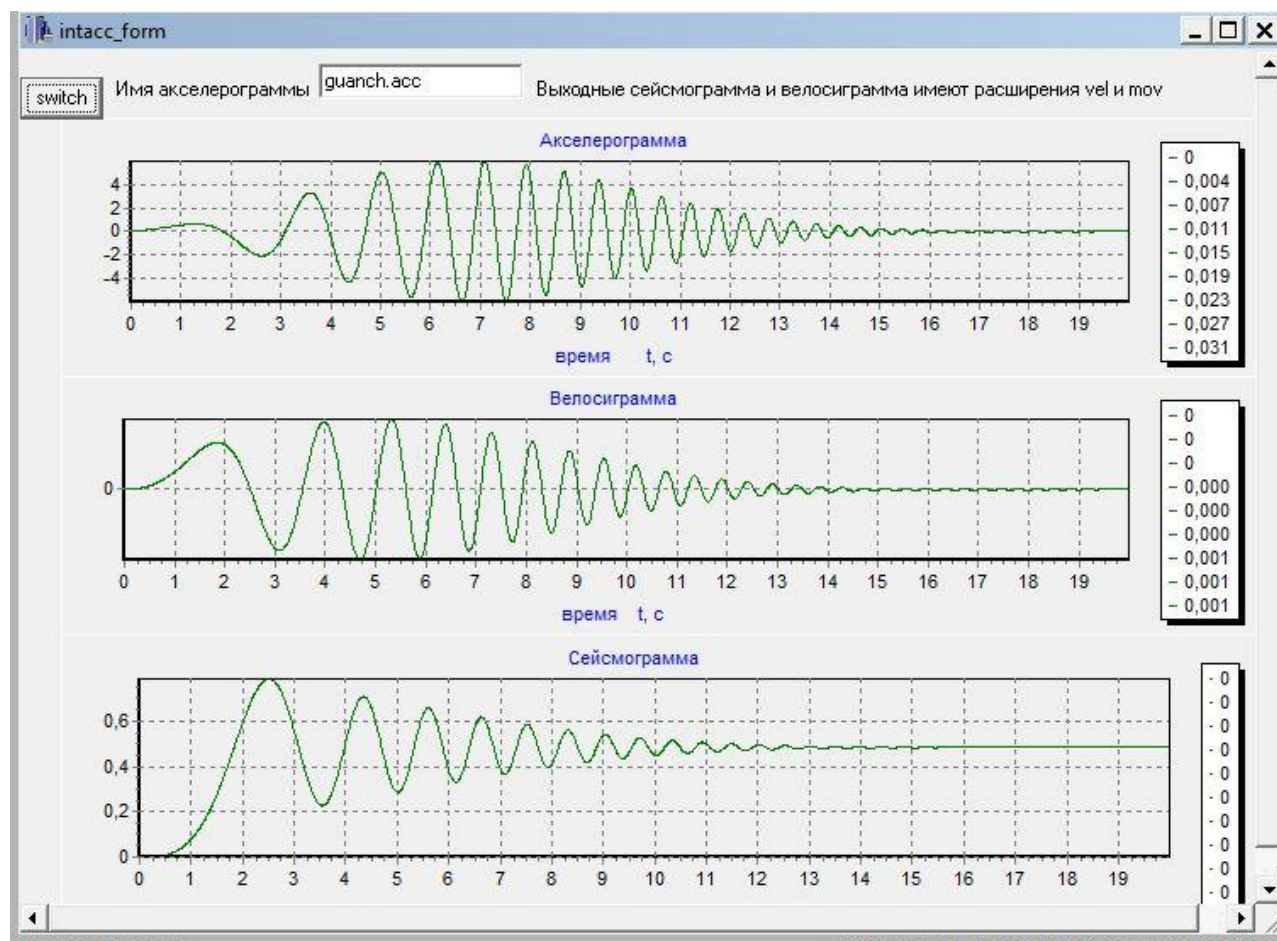
$$j = Ae^{-\varepsilon_i t} \sin(\omega(t)t)$$



# УНИВЕРСАЛЬНЫЙ КОРОТКИЙ ВРЕМЕННОЙ ПРОЦЕСС, ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ ДЛЯ ВСЕХ СООРУЖЕНИЙ

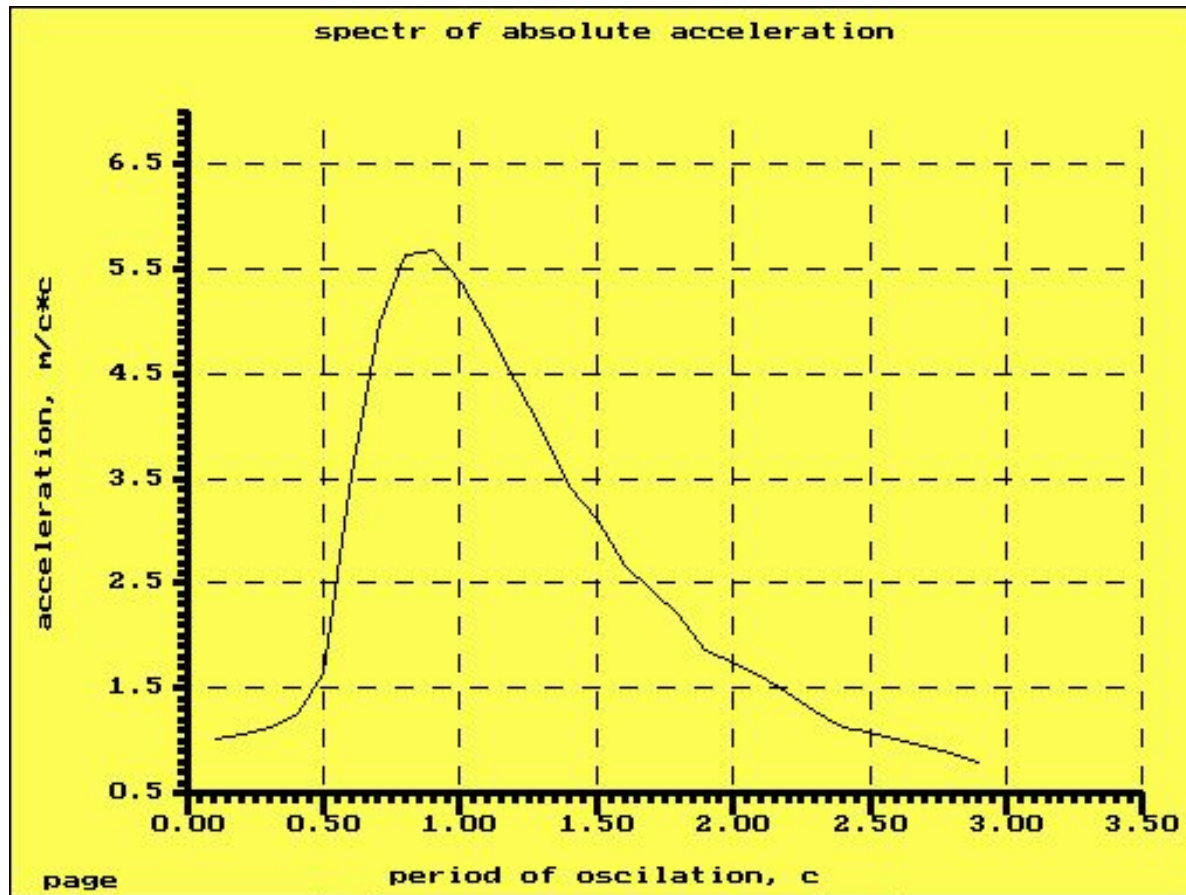
$$y = Ae^{-\varepsilon_i t} \sin(\omega(t)t)$$

Процесс Уздина - Аннаева



# УНИВЕРСАЛЬНЫЙ КОРОТКИЙ ВРЕМЕННОЙ ПРОЦЕСС, ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ ДЛЯ ВСЕХ СООРУЖЕНИЙ

Спектр ускорений процесса Уздина - Аннаева



# Единственная акселерограмма, сгенерированная для рассматриваемого сооружения

$$y_0 = \sum_{i=1}^n A_i e^{-\varepsilon_i t} \sin(\omega_i t)$$

$$\dot{y}_0 = \sum_{i=1}^n A_i e^{-\varepsilon_i t} \left[ \omega_i \cos(\omega_i t) - \varepsilon_i \sin(\omega_i t) \right]$$

$$y_0 = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{\omega_i} \left[ \frac{1 - e^{-\varepsilon_i t} \left( \cos(\omega_i t) + \frac{\varepsilon_i}{\omega_i} \sin(\omega_i t) \right)}{1 + \frac{\varepsilon_i^2}{\omega_i^2}} \right]$$

# Единственная акселерограмма, сгенерированная для рассматриваемого сооружения

- Условия -  
неравенства

$$V \Big|_{t > T} < \delta \quad \frac{y_{ост}}{y_{max} \tau^2} < 0.005$$

- Условия - равенства

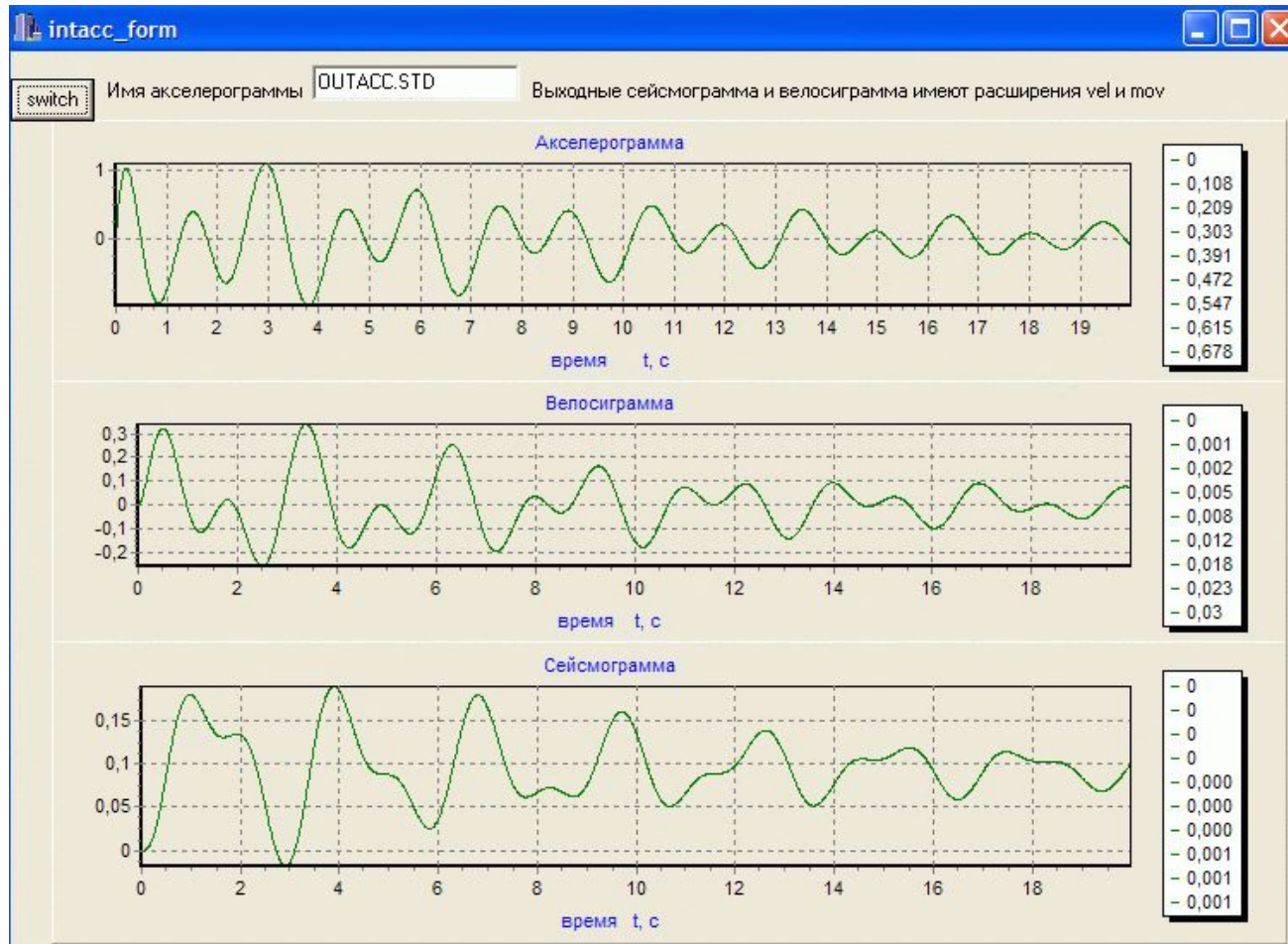
$$\sum_{i=1}^n A_i \omega_i = 0 \quad \frac{y_{max} \cdot y_{max}}{y_{max}^2} = re^{-\chi T}$$

$$A_{max} = A_{расч}(T_3)$$

$$I_A = I_{A16}^{(расч)}$$

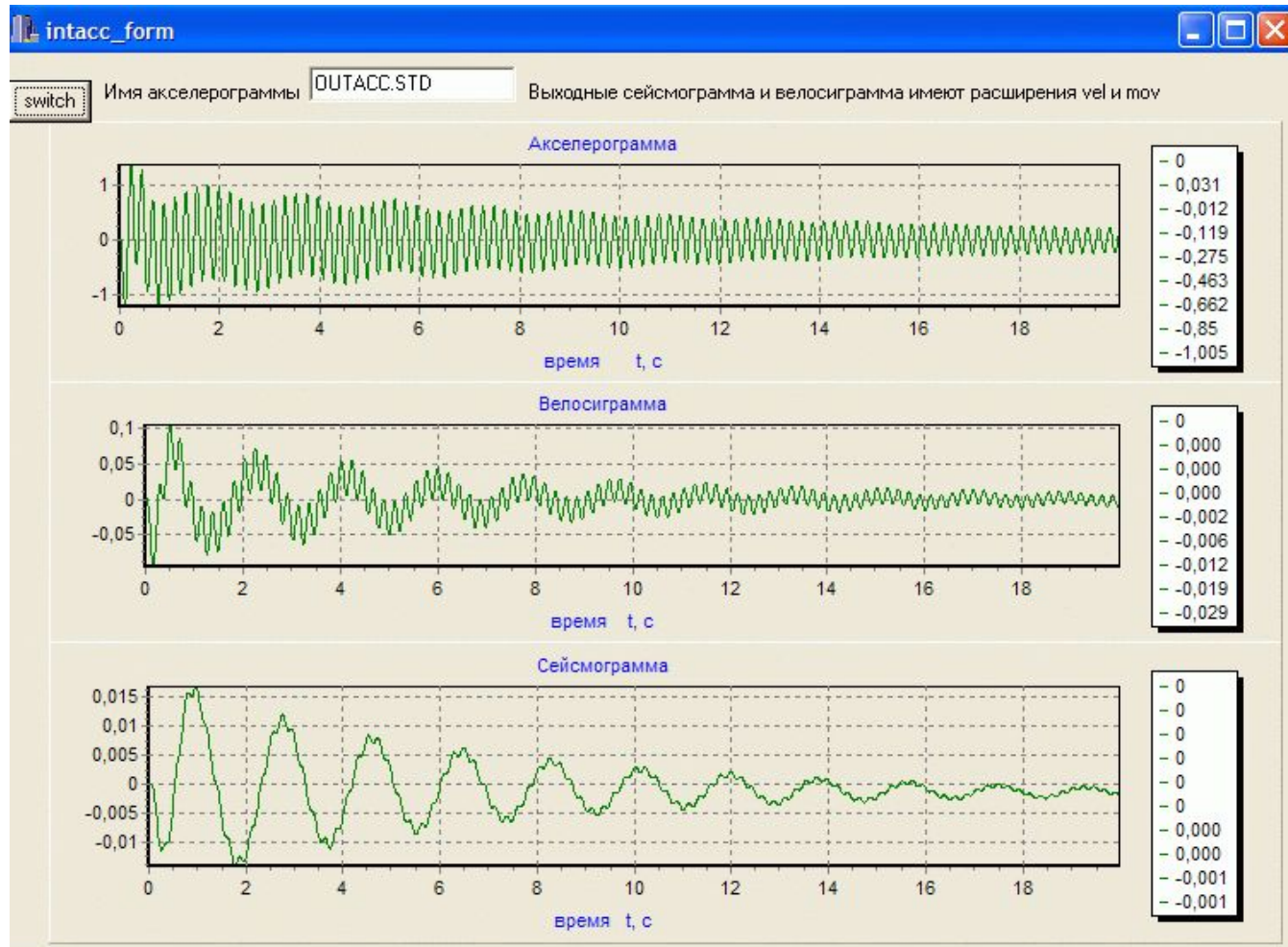


# Единственная акселерограмма, сгенерированная для рассматриваемого сооружения



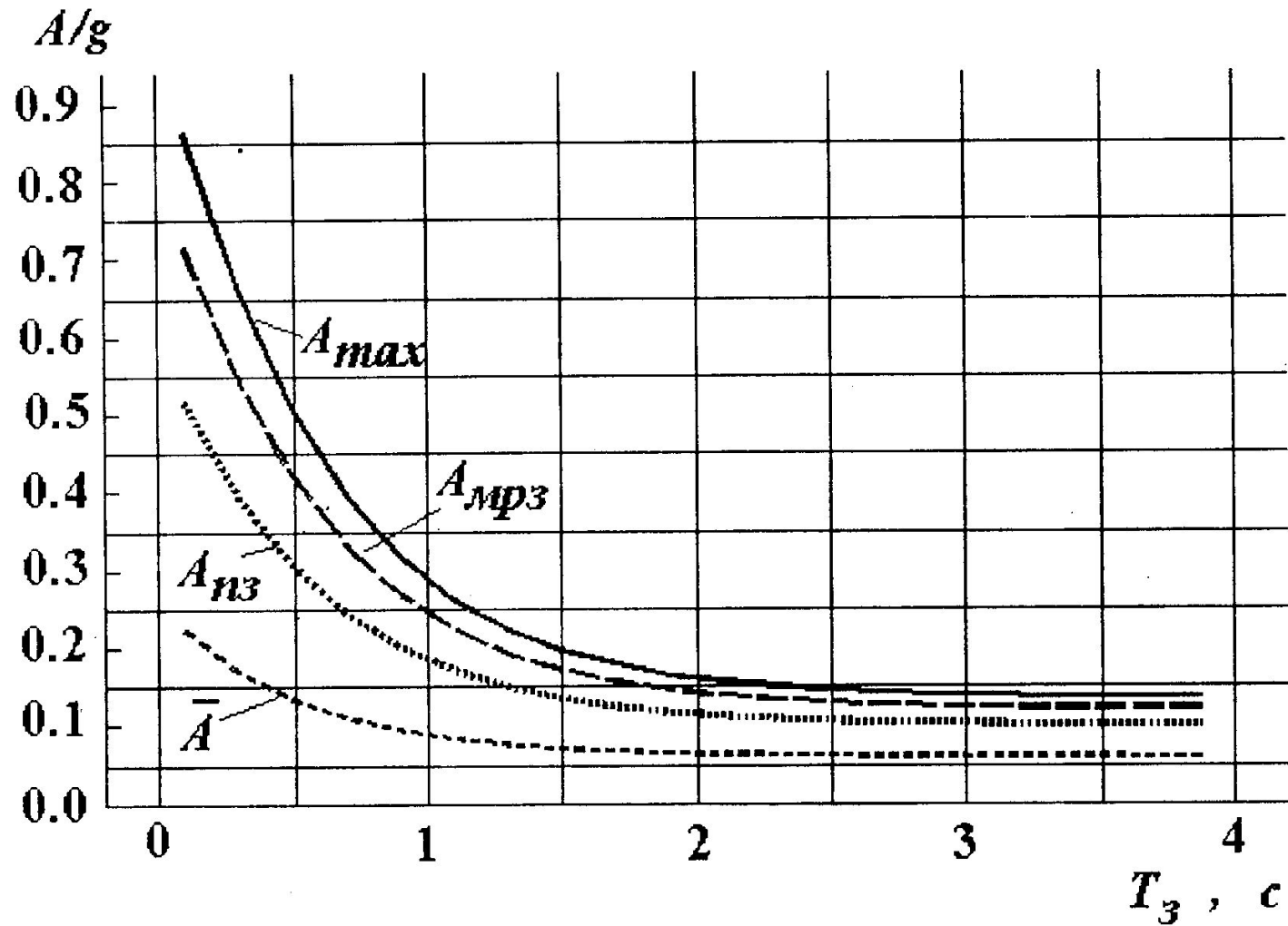
*Синтетическое воздействие с преобладающими периодами  
2.75 с, 2 с и 1.5 с*

# Единственная акселерограмма, сгенерированная для рассматриваемого сооружения

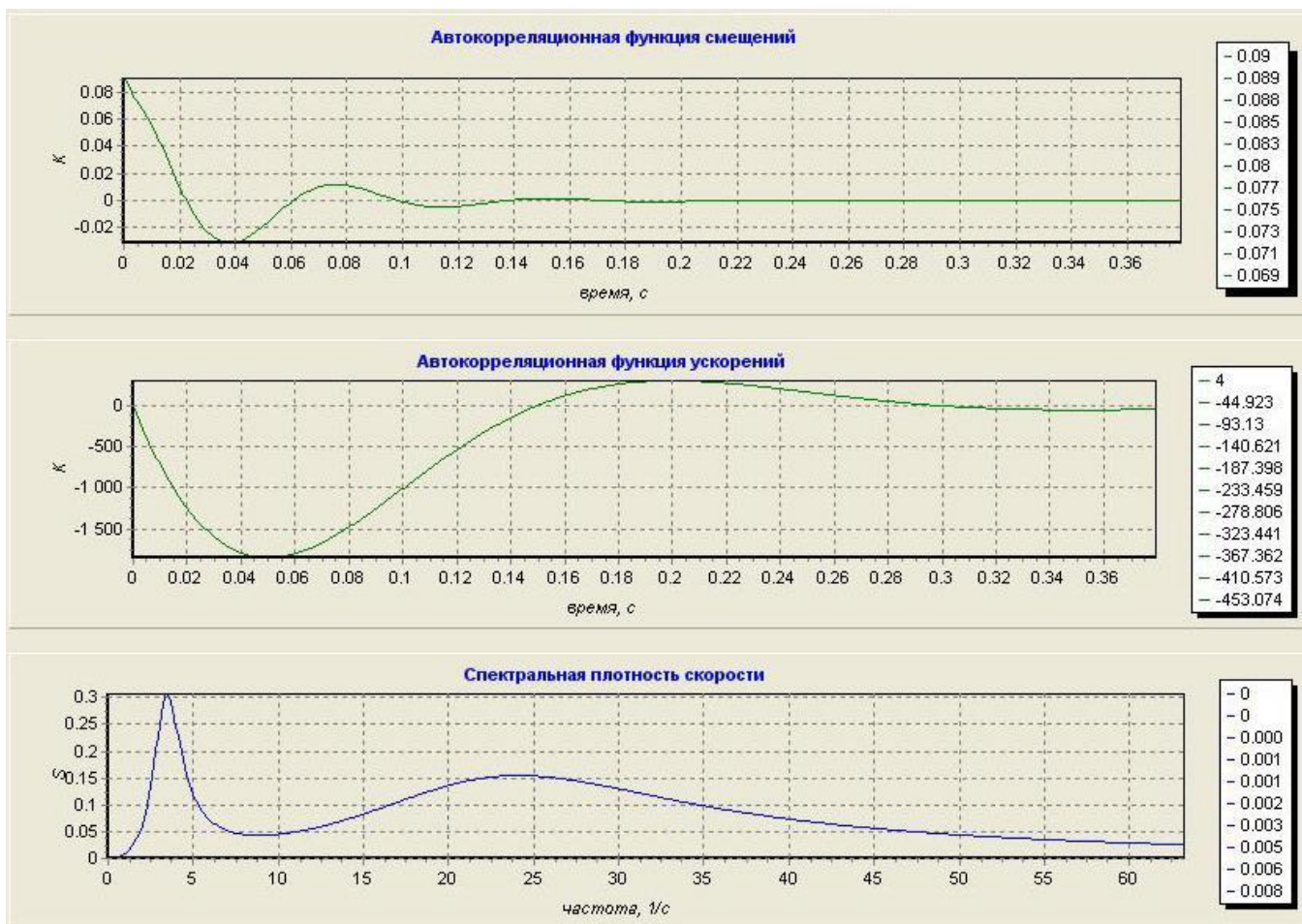


Синтетическое воздействие с преобладающими периодами  
1.84 с, 0.87 с и 0.2 с

# Единственная акселерограмма, сгенерированная для рассматриваемого сооружения



# Набор случайных воздействий с заданным спектром



# Характеристики реальных акселерограмм, которые следует учитывать при моделировании расчетных

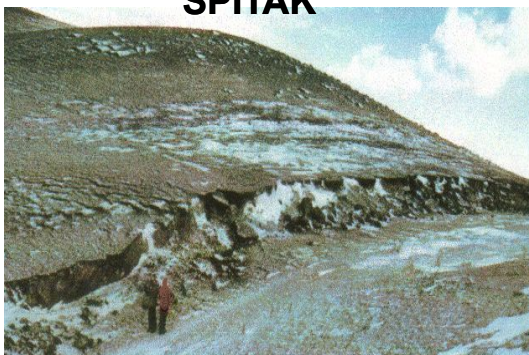
## ВОЗДЕЙСТВИЙ

- **Кинематические характеристики** - пиковые и средние значения ускорений, скоростей и смещений, а также остаточные смещения



CHI-CHI

SPITAK



CHI-CHI



SOBO



. Остаточные смещения дневной поверхности после землетрясений Чи-Чи, Спитакского и Кобе.

***Остаточные смещения дневной  
поверхности после Спитакского  
землетрясения 1987 г***



# Кинематические характеристики сейсмического воздействия

$$K = \frac{y_{\max} \cdot \ddot{y}_{\max}}{\ddot{y}_{\max}^2}$$

## Частотно-временные характеристики сейсмических воздействий

спектральный состав воздействия

продолжительность землетрясения  $\tau = A \cdot T_3 + B$

число циклов колебаний во время землетрясения

# Энергетические характеристики сейсмических воздействий

Интенсивность по Ариасу

$$I_A = \int_0^{\tau} a^2(t) dt \quad I'_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^{\tau} a^2(t) dt = \frac{\pi}{2g} I_A$$

Кумулятивная абсолютная скорость *CAV*

$$CAV = \int_0^{\tau} |a(t)| dt$$



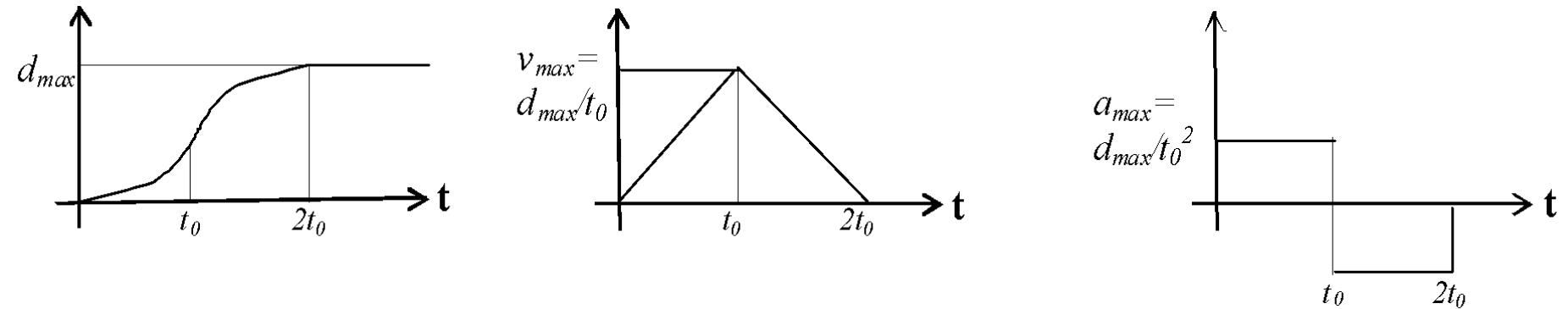
# Усовершенствованная модель сейсмического воздействия

$$\ddot{y}_0 = V(t - \phi) \cdot \eta(t - \phi) + \sum_{i=1}^3 a_i e^{-\alpha_i t} (1 - e^{-\beta_i t}) \sin \omega_i t$$

- где  $\phi$ - сдвиг фаз от начала землетрясения до момента прихода импульса скорости к сооружению;

$$\eta(z) = \begin{cases} 0, & z \leq 0 \\ 1, & z > 0 \end{cases}$$

# Усовершенствованная модель сейсмического воздействия



*Графики смещений, скоростей и ускорений  
для ступенчатого процесса*

$$t_0 = 10^{(-3.471 + 0.5 \cdot M_w)}$$

$$d_{max} = 10^{(-6.3 + M_w - \log(R))}$$