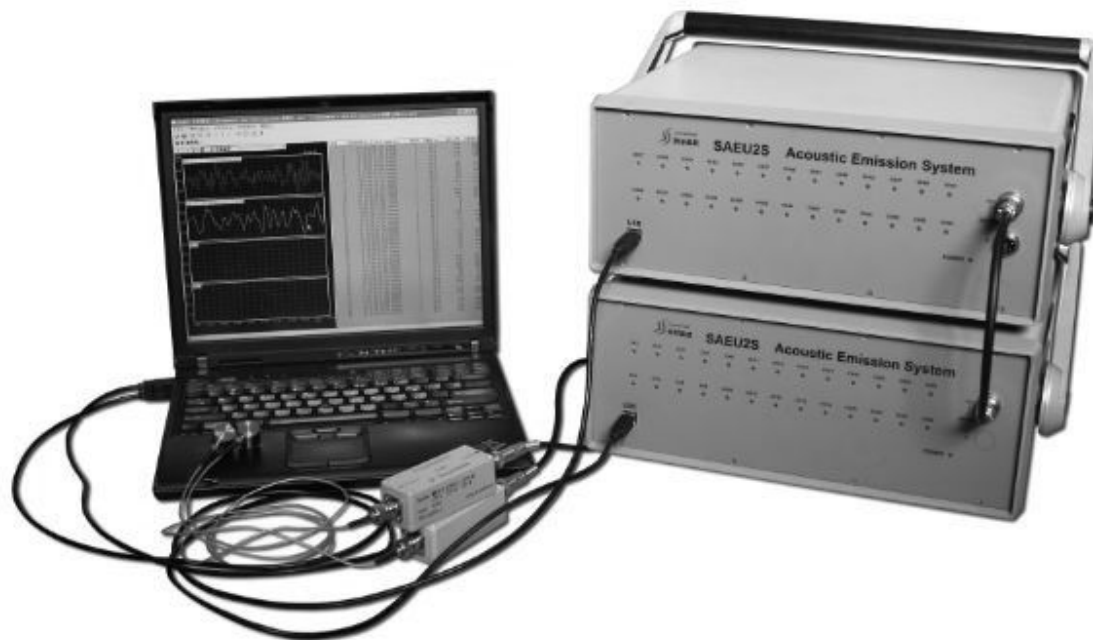


Метод акустической эмиссии: исследование строительных композитов



Физические методы исследования

- Акустический (ультразвуковой) метод
 - Капиллярный метод
 - Радиометрический метод
 - Электро- и магнитостатические методы
 - Электромагнитные (вихретоковый, микроволновый, инфракрасный, оптический, радиационный) методы
-

Явление АЭ

Излучение упругих волн, обусловленное локальной динамической перестройкой внутренней структуры

Источниками АЭ являются дислокации, дислокационные поля, трещины

Развитие дефектов стимулируется внешним источником механического напряжения или эксплуатационными нагрузками

Сравнительная характеристика метода

Акустическая эмиссия	Большинство других методов интроскопии
Обнаруживает движение, развитие дефектов	Обнаруживают геометрическую форму дефектов
Требует нагружения (возможно – эксплуатационными воздействиями)	Не требуют нагружения
Каждое нагружение уникально	Контроль воспроизводим
Чувствителен к структуре материала	Менее чувствительны к материалу
Менее чувствительны к геометрии дефектов	Более чувствительны к геометрии
Требует меньших усилий при проведении контроля продукции/процессов	Требуют больших усилий при проведении контроля продукции/процессов
Требует доступ только в местах установки датчиков	Требуют доступ ко всей поверхности объекта
Контролирует конструкцию за один цикл нагружения	Постепенное сканирование участков конструкции

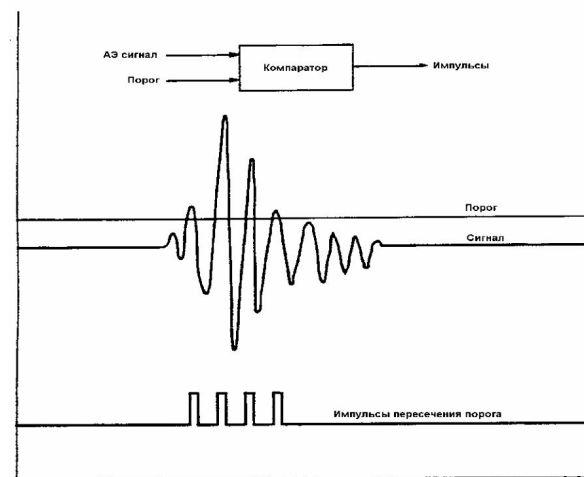
Параметры АЭ (ГОСТ 27655)

Амплитуда АЭ – пиковое значение сигнала (механического, электрического) или среднее по выбранному промежутку

Энергия АЭ – энергия, выделяемая источником; условная характеристика, вычисляемая как квадрат амплитуды или площадь под огибающей

Суммарный счет АЭ – число превышений сигналом заданного уровня дискриминации

Активность АЭ – число импульсов в единицу времени



Области применения метода АЭ

- контроль процесса сварки
 - контроль износа и соприкосновения оборудования при механической обработке
 - контроль износа и потерь смазки на объектах, связанных с вращением и трением компонент
 - обнаружение и контроль течей, кавитации и потоков жидкости
 - контроль коррозионных процессов, фазовых переходов
-

Механизмы АЭ

- Движение дислокации и их скоплений
 - Пластическая деформация
 - Движение границ доменов
 - Фазовые и полиморфные переходы
 - Рост трещин
-

Применение АЭ для исследования строительных композитов

- Скорость распространения звука зависит от плотности, вязкости, пластичности и степени структурной неоднородности
- Имеют место дисперсия, интерференция и рассеяние акустических волн в результате их отражения и преломления на границах неоднородностей

Схема регистрации сигналов АЭ:

- источник АЭ и канал передачи (объект контроля)
 - преобразователь акустических сигналов в электрические
 - радиоэлектронная аппаратура
-

Описание АЭ в частотной области

$S(t)$ – сигнал АЭ;

$G(t, \dots)$ – передаточная характеристика объекта;

$X(t, \dots)$ – сигнал на входе приемного преобразователя;

$U(t)$ – отклик приемного преобразователя.

$$\tilde{S}(\omega) = \int S(t) e^{-i\omega t} dt$$

$$S(t) = \frac{1}{2\pi} \int \tilde{S}(\omega) e^{-i\omega t} d\omega$$

$$\tilde{G}(\omega, k_1, k_2) = \iiint G(t, x_1, x_2) e^{-i(\omega t + k_1 x_1 + k_2 x_2)} dt dx_1 dx_2$$

$$G(t, x_1, x_2) = \frac{1}{(2\pi)^3} \iiint \tilde{G}(\omega, k_1, k_2) e^{-i(\omega t + k_1 x_1 + k_2 x_2)} d\omega dk_1 dk_2$$

$\tilde{S}(\omega)$ – системная функция источника;

$\tilde{G}(\omega, k_1, k_2)$ – переходная функция объекта.

Акустические свойства КМ

Скорость звука

$$E = E_m (1 + 11\nu_f^{1,7})$$

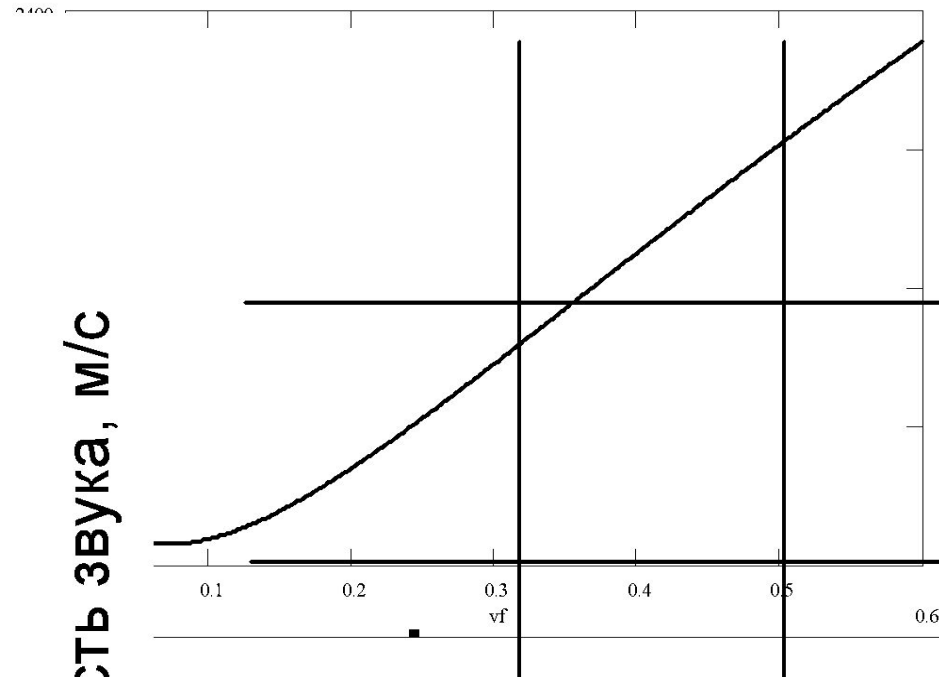
$$\rho = \rho_m + (\rho_f - \rho_m)\nu_f$$

$$\vartheta = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \sqrt{\frac{E_m (1 + 11\nu_f^{1,7})}{\rho_m + (\rho_f - \rho_m)\nu_f}}$$

Собственные частоты

$$\omega = \pi \frac{\vartheta}{l}$$

$$\omega = \frac{\pi \rho_f S_s}{3} \sqrt{\frac{E_f}{\rho_f}}$$



Спектральные свойства КМ

Спектральная характеристика объекта цилиндрической формы

$$G(\omega, l, x, \alpha, \beta) = \sqrt{\frac{\operatorname{ch} 2\alpha(l-x) + \cos 2\beta(l-x)}{\operatorname{ch} 2\alpha l + \cos 2\beta l}} \quad G(\omega, x, \vartheta) = \sqrt{\frac{\operatorname{ch} 2\alpha(l-x) + \cos 2(l-x)\frac{\omega}{\vartheta}}{\operatorname{ch} 2\alpha l + \cos 2\frac{\omega}{\vartheta}l}}$$

$$G(\omega, x, v_f) = \sqrt{\frac{\operatorname{ch} 2\alpha(l-x) + \cos\left(2\omega(l-x)\sqrt{\frac{\rho_m + (\rho_f - \rho_m)v_f}{E_m(1+11v_f^{1,7})}}\right)}{\operatorname{ch} 2\alpha l + \cos\left(2\omega l\sqrt{\frac{\rho_m + (\rho_f - \rho_m)v_f}{E_m(1+11v_f^{1,7})}}\right)}}$$

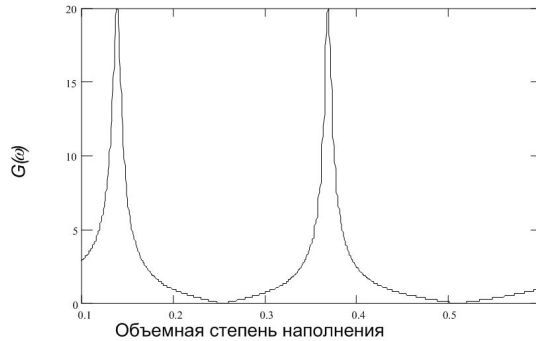
Спектральные свойства КМ

Расширение импульса АЭ

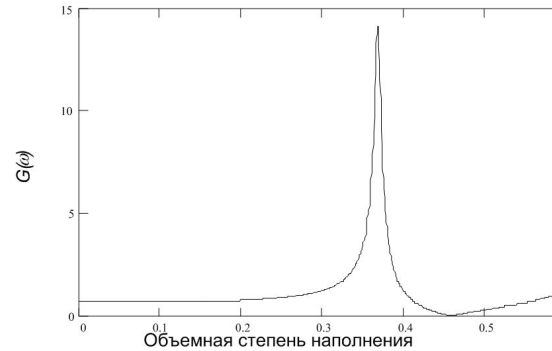
$$\tau_1 = l \sqrt{\frac{\rho_m}{E_m}}$$

$$\tau_2 = l \sqrt{\frac{\rho_f}{E_f}}$$

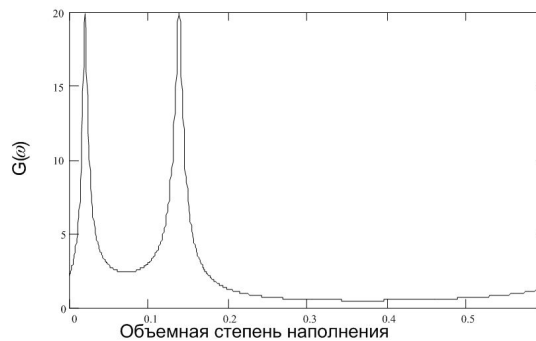
$$\tau = l \left(\sqrt{\frac{\rho_m}{E_m}} - \sqrt{\frac{\rho_f}{E_f}} \right)$$



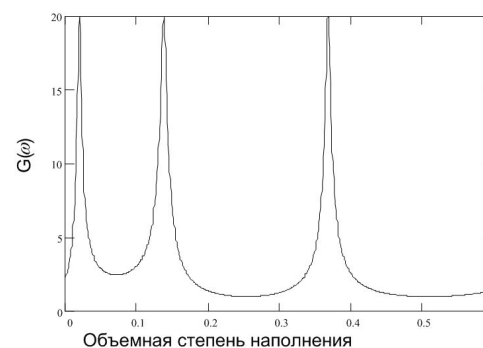
Переходная функция КМ
(источник АЭ находится вблизи ПП)



Переходная функция КМ
(расстояние между источником АЭ и ПП составляет 10 мм)



Переходная функция КМ
(расстояние между источником АЭ и ПП составляет 25 мм)



Переходная функция КМ
(расстояние между источником АЭ и ПП составляет 50 мм)

Приемные преобразователи

- интерферометрические
 - волоконно-оптические
 - индукционные
 - конденсаторные
 - пьезоэлектрические: два пика чувствительности (180 кГц, 180 мкВ/Па; 400 кГц, 90 мкВ/Па), средняя чувствительность в диапазоне 0...100 кГц — менее 10 мкВ/Па
-

Характеристики пьезопреобразователей

Интегральная характеристика

$$\tilde{U}(\omega) = \frac{1}{4\pi^2} \iint \tilde{X}(k_1, k_2, \omega) \tilde{H}(k_1, k_2, \omega) C(k_1, k_2, \omega) dk_1 dk_2$$

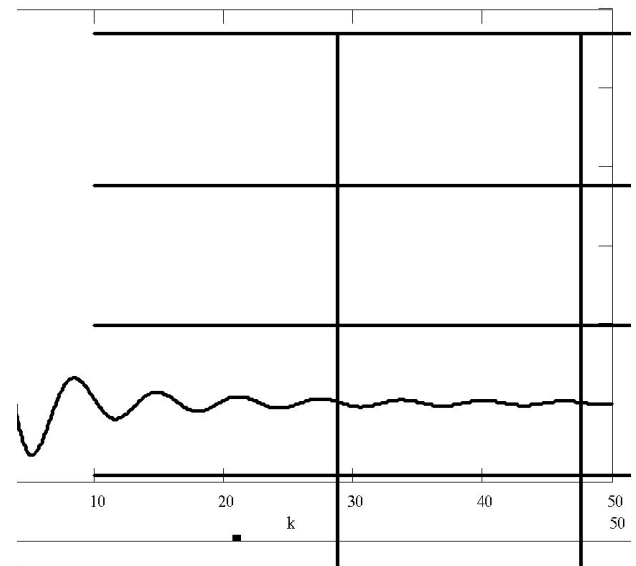
Геометрическая характеристика

$$C(k_1, k_2) = \frac{1}{S} \iint_S e^{i(k_1 r_1 + k_2 r_2)} dr_1 dr_2$$

Геометрическая характеристика преобразователя с круговой чувствительной зоной

$$C(k_1, k_2) = 2 \frac{J_1\left(R\sqrt{k_1^2 + k_2^2}\right)}{R\sqrt{k_1^2 + k_2^2}}$$

$G(k)$



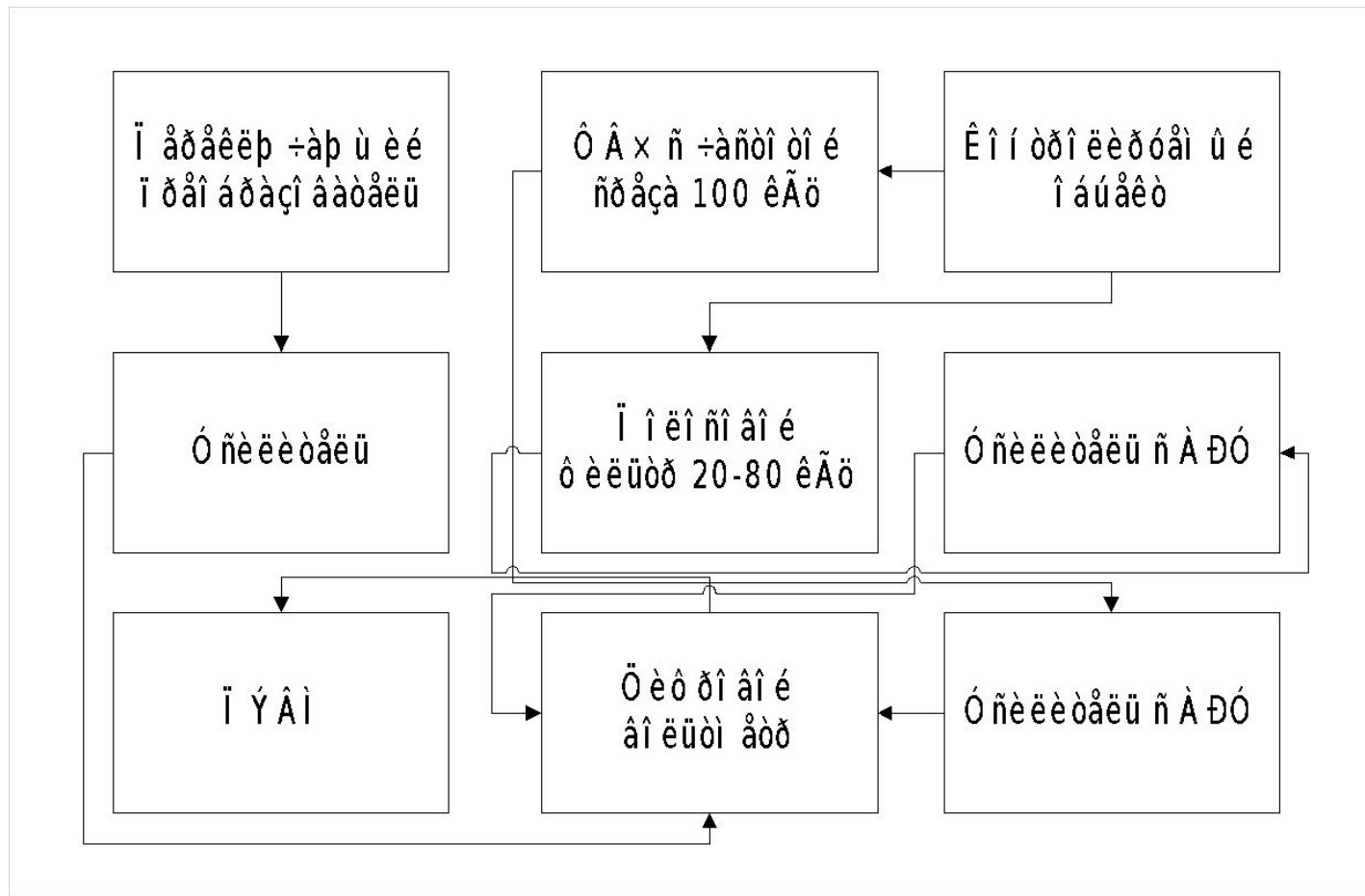
Приборы регистрации и анализа

- Регистрация амплитудных и энергетических характеристик сигнала
 - Интеграция с персональной ЭВМ
 - Анализ временных и частотных характеристик сигнала в реальном времени
 - Подавление помех
-

Подавление помех

- Амплитудная селекция основана на различии уровней сигналов АЭ и посторонних помех
 - Частотная селекция реализуется включением полосовых фильтров или фильтров верхних частот
 - Временная селекция основана на различии в крутизне переднего фронта импульса АЭ и помехи
 - Пространственная селекция – ограничение зоны с источниками, сигналы которых регистрируются приемной аппаратурой
 - Селекция мод основана на высокой избирательности приемника к отдельной волне или направлению перемещения
-

Амплитудно - частотный селектор



Сопряжение с ЭВМ

- Аппаратная обработка: комплексные приборы регистрации и анализа сигналов АЭ, простое устройство сопряжения, простота алгоритмов обработки
 - Программная обработка: простое устройство регистрации и сопряжения, сложные алгоритмы обработки, повышение требований к ЭВМ
-

Предварительная обработка сигнала АЭ

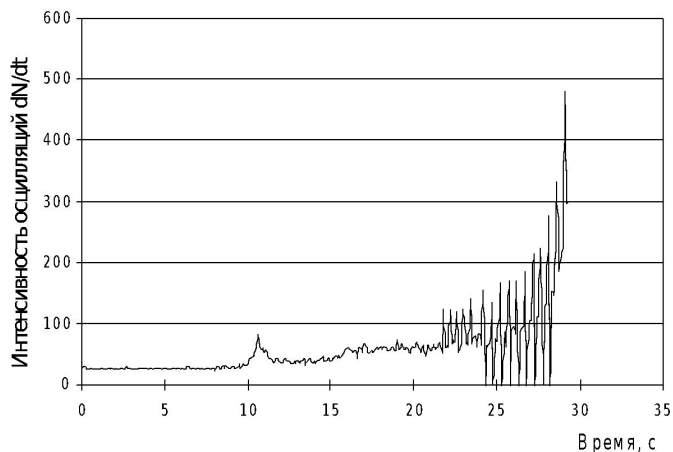
$$u(t_j) = c_0 u(t_j) + \sum_{n=0}^{N_l-1} c_{n-N_l} u(t_j) + \sum_{n=0}^{N_r-1} c_{N_r-n} u(t_j),$$

c_n , $n = -N_l, N_r$ – коэффициенты фильтра;
 N_l , N_r – дискретные границы интервала сглаживания.

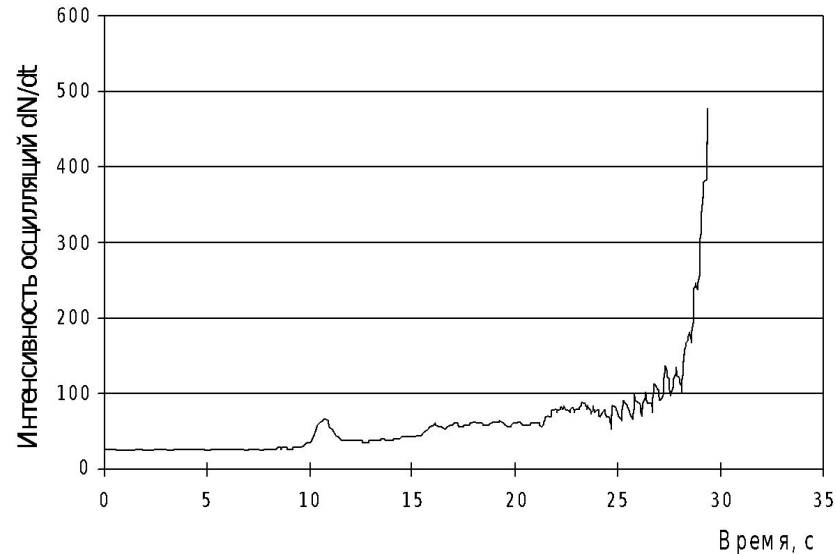
Коэффициенты локального полиномиального фильтра

Коэффициент	c_{-5}	c_{-4}	c_{-3}	c_{-2}	c_{-1}	c_0
Значение	-0,084	0,021	0,103	0,161	0,196	0,207

Тестовый сигнал АЭ

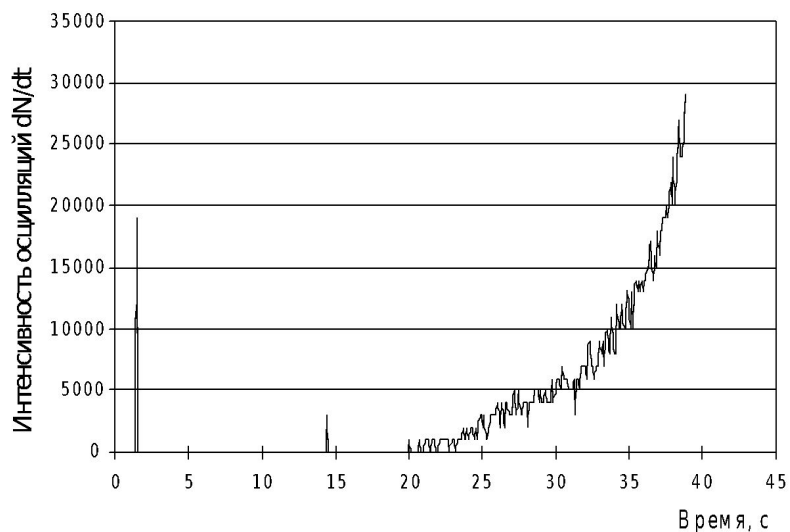


Результат применения локального полиномиального фильтра

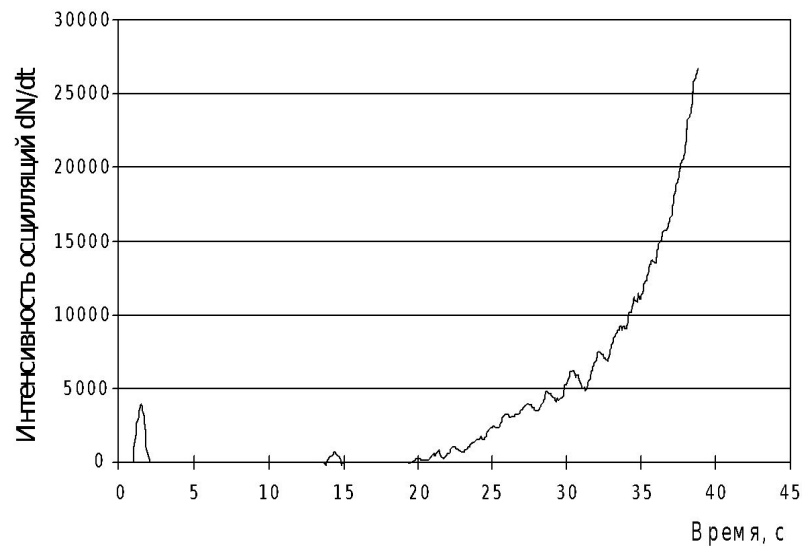


Фильтрация нормальной шумовой составляющей

Сигнал АЭ, на которой наложен нормальный шум (амплитуда шума составляет 2% от амплитуды сигнала)



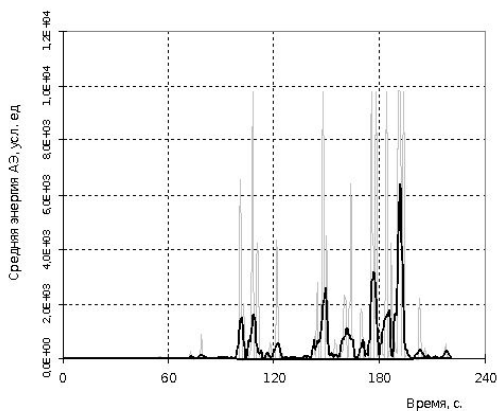
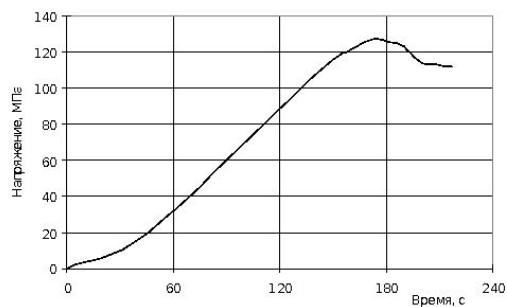
Результат применения локального полиномиального фильтра



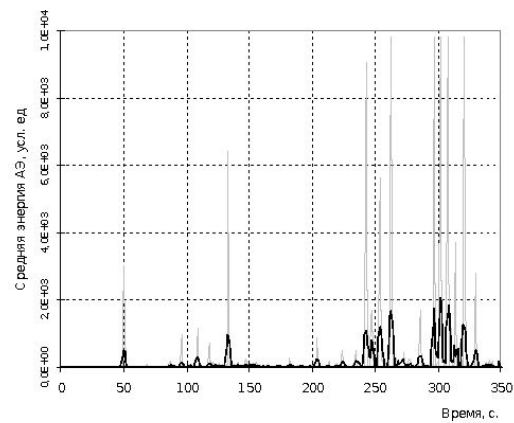
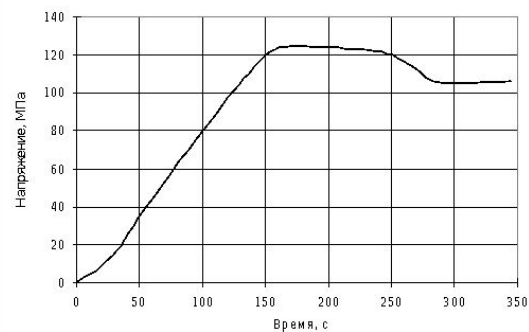
Кинетика АЭ полимерных КОМПОЗИТОВ

М алонаполненные составы

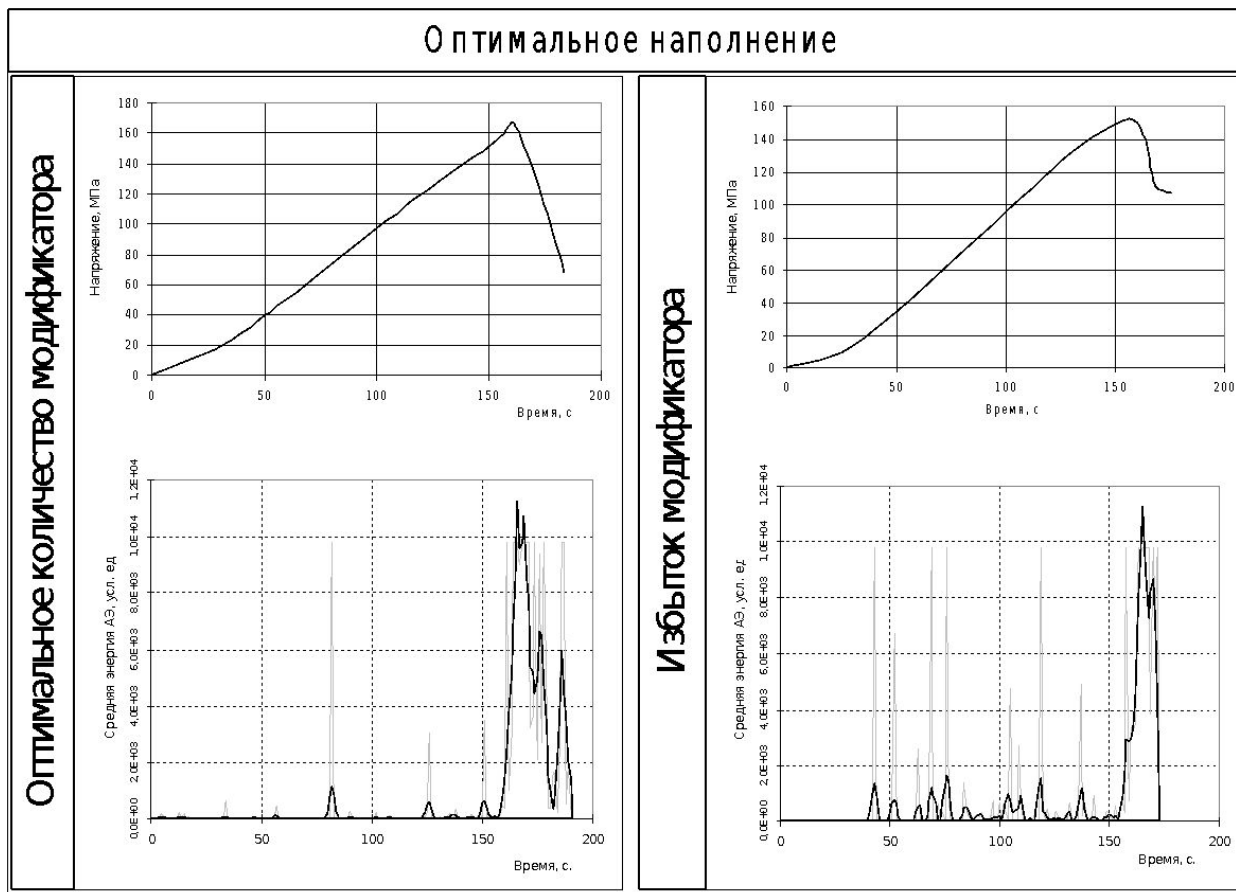
Оптимальное количество модификатора



Избыток модификатора



Кинетика АЭ полимерных КОМПОЗИТОВ



Благодарю за внимание!