

# ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ АКТИВНОЙ ВИБРОЗАЩИТЫ

---

кафедра «Проектирование и технология производства ЭА»  
МГТУ им. Н.Э. Баумана

**Предметная область:** Методы и средства низкочастотной виброзащиты элементов конструкций приборных систем

**Цель работы:** исследование схемной реализации микропроцессорных блоков управления системами активной виброзащиты (САВ) и разработка алгоритмов управления адаптивными и нейроадаптивными САВ.

## Виды механических воздействий

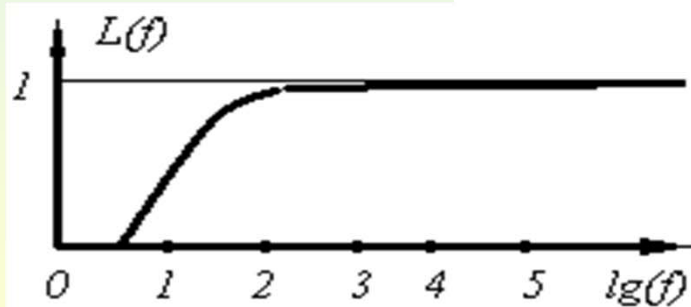
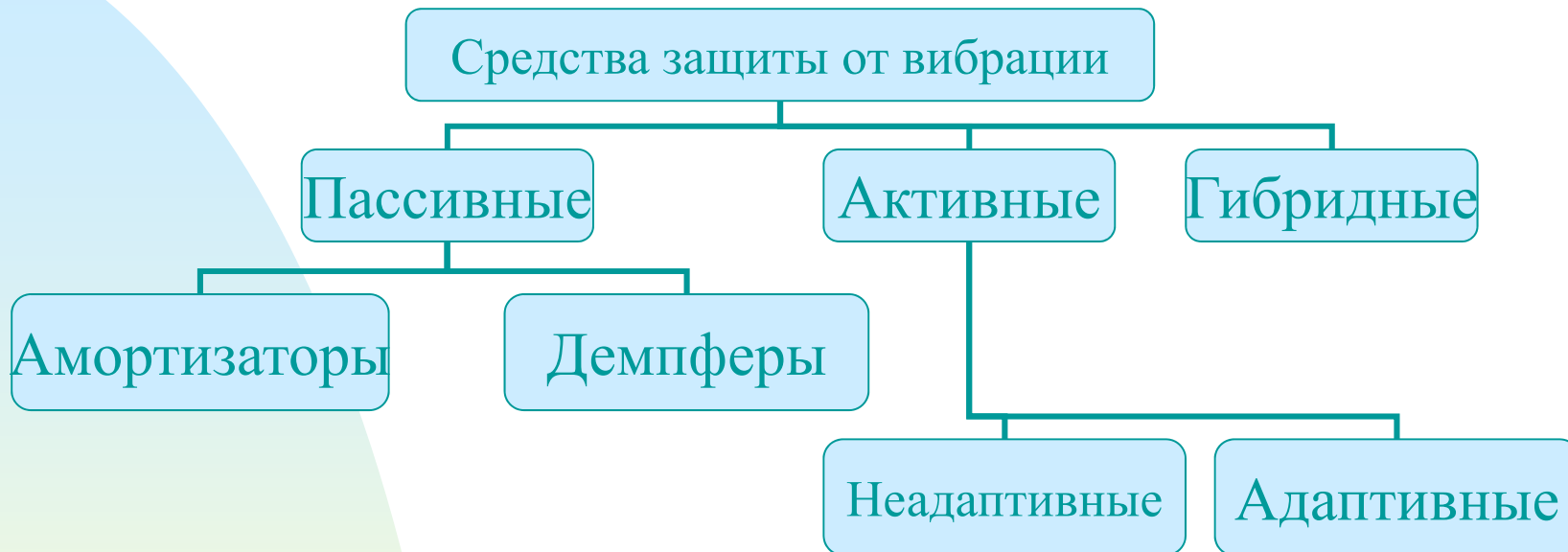
№	Категории ЭА	Вибрации		Удары		Линейные перегрузки g	Акустический шум	
		Частота, Гц	Ускорение, g, Н	Ускорение, g, Н	Длительность, мс		Частота, кГц	Давление, дБ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Наземная возимая	2...80	1...4	20...75	11	6	-	-
2	Наземная носимая	2...80	3...6	до 50	6	-	-	-
3	Морская	5...55	до 1,5	7...12	11	до 6	-	-
4	Самолетная	3...2000	2...10	5...10	11	6...9	130	до 150
5	Ракетная	10...3000	2...40	до 50	11	до 40	130	до 150
6	Космическая	10...3000	до 6 (обитаемая) до 40 (необитаемая)	до 50	11	20...40	130	до 150

**Задача проектирования: обеспечение надежной работы ЭА в условиях воздействия дестабилизирующих факторов.**

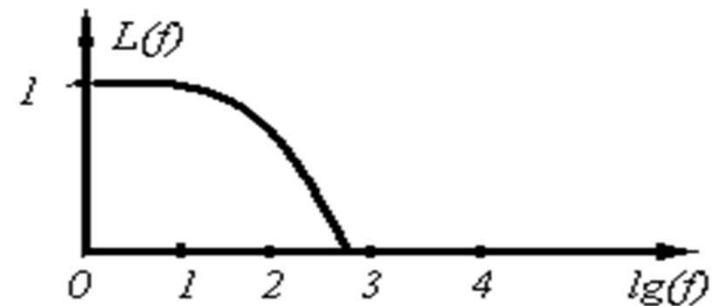
# Обобщённая классификация средств защиты



# Обобщённая классификация средств защиты



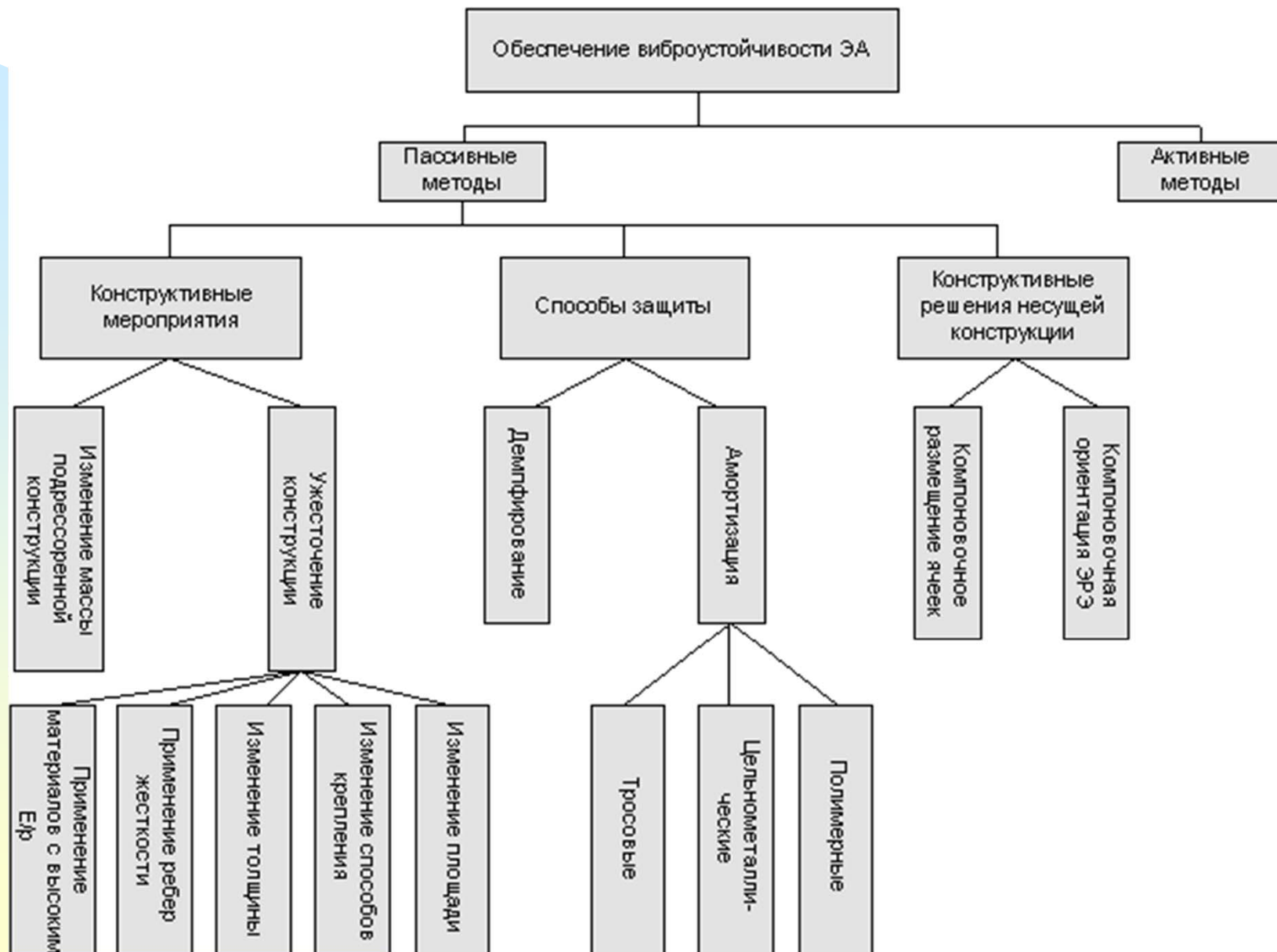
Пассивные



Активные

Зависимость эффективности средства защиты  $L(f)$  от частоты воздействия

# Классификация средств пассивной виброзащиты



## Актуальной активных средств виброзащиты

Современные многокаскадные упругоинерционные виброзащитные системы **не могут решить** задачу виброизоляции в **широкой полосе частот**, они чувствительны к изменяющимся условиям функционирования (частоте колебаний, массе элементов конструкций и т.п.).

**На достаточно высоких частотах** упругие элементы виброзащиты обеспечивают высокий процент отражения большей части колебательной энергии обратно в источник и тем лучше, чем ниже их жесткость.

**В низкочастотной области** требования к жесткости совсем иные и определяются статической нагрузкой, динамикой ее изменения при наклоне, инерционными силами при разгоне и торможении на движущихся объектах, ударами и прочими условиями.

Неоднозначны и требования к демпфированию: малая его величина полезна для виброизоляции, однако в диапазоне низких частот поражает при наличии возбуждающих колебаний интенсивные резонансные колебания, что является главным и трудно устранимым недостатком упругой подвески. Для решения задачи снижения низкочастотных вибраций находят все большее применение активные виброзащитные системы (САВ), использующие дополнительные источники энергии.

# Области применения САВ

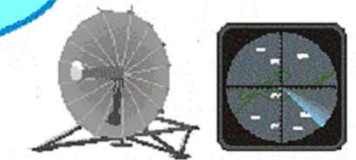
Такие системы находят применение для защиты элементов технических систем от внешних низкочастотных вибрационных полей, снижения вибраций в салонах самолётов, автомобилей, железнодорожных составах, метро и других транспортных средств, уменьшение виброшумов, излучаемого судами и подводными объектами и т.п.

Вибрация и акустический шум турбин двигателей и механические воздействия на корпус воздушного средства обусловленные наличием турбулентности в потоках воздушных масс.



Вибрация и акустический шум от мощных энергоустановок и промышленных источников.

Источники механических воздействий



Механические колебания вызванные сейсмической активностью земной коры.



Шум и механические нагрузки возникающие при движении автотранспорта а также при работе ДВС



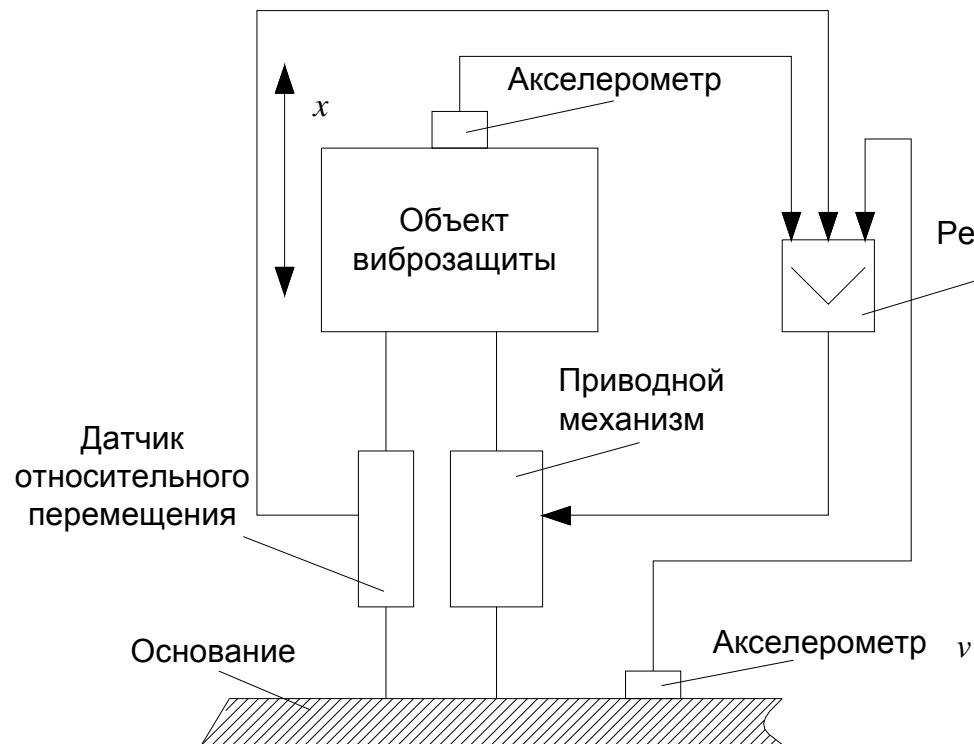
Вибрационные, ударные акустические воздействия возникающие при работе двигателей морских судов, и морской качке.



Офисная оргтехника является источником акустических шумов, вибрационных и ударных полей.



# Обобщённая структура САВ



**Активные системы**, в общем случае относятся к числу многомерных, многосвязанных систем автоматического управления

ВОЛНОВЫМ ПОЛЕМ.

В общем случае **под объектом управления** следует понимать совокупность компенсирующих излучателей, приёмников и расположенными между ними участками среды или конструкции.

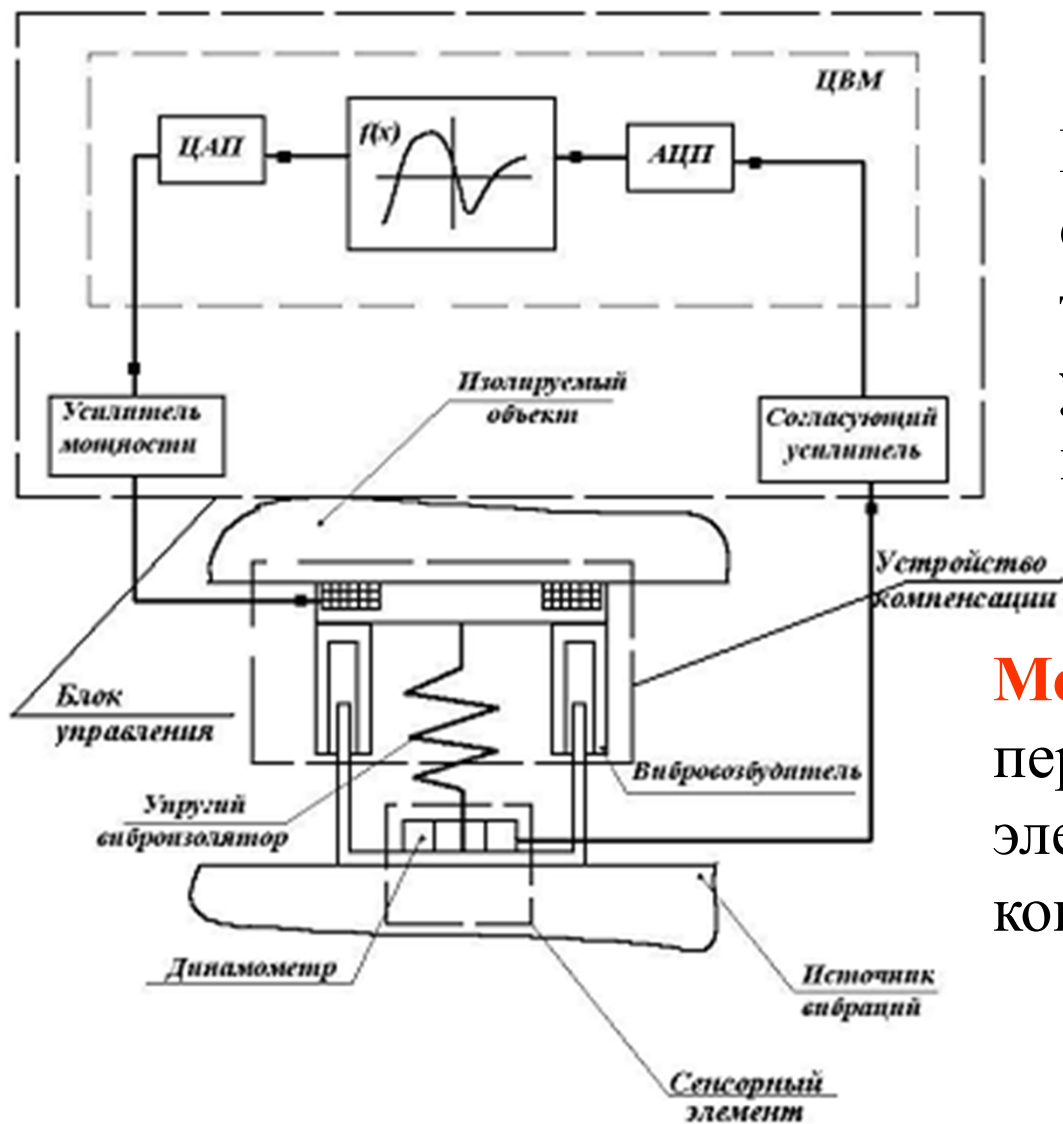
САВ формируют с помощью компенсирующих излучателей дополнительное гасящее поле с требуемыми пространственными и частотными характеристиками. Наложение на исходное поле гасящего поля приводит к их взаимной компенсации.



# Классификация систем активной виброзащиты



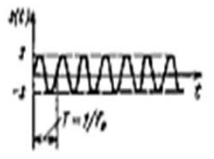

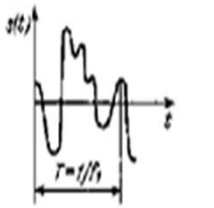
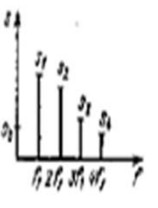
# Структурная схема САВ

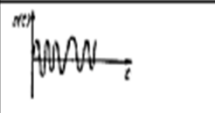
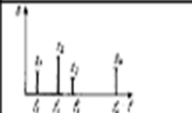
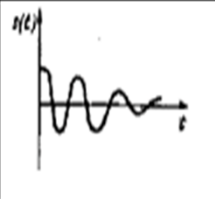
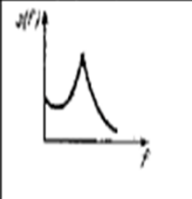
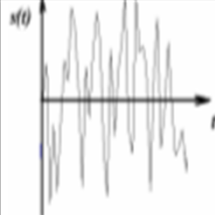


**Представление САВ с точки зрения теории автоматического управления волновым полем.**

**Модель САВ:** совокупность передаточных функций элементов САВ, среды и конструкции.

# Характеристики вибрационных сигналов

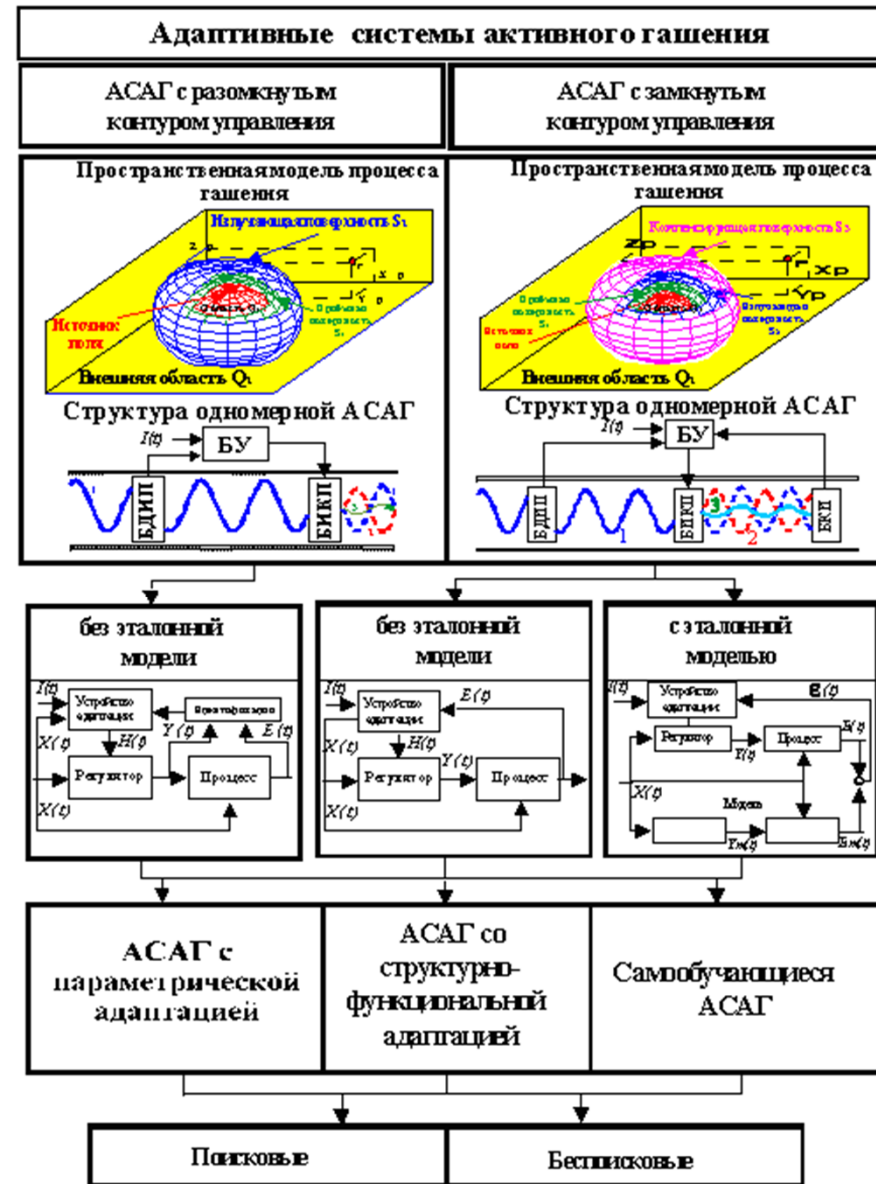
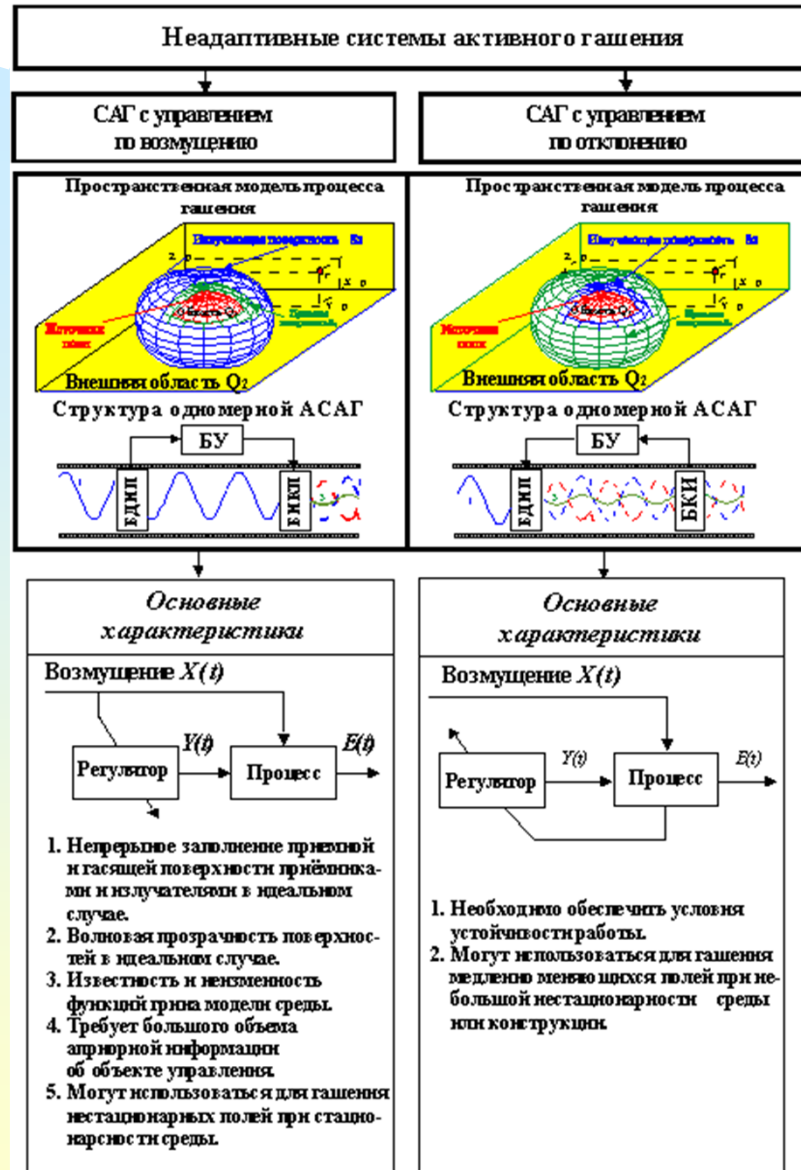
Вид процесса	Функция времени	Форма	Частотный спектр
Гармонический	$s(t) = s \sin(\omega t + \varphi)$ $s(t) = s \sin 2\pi f_0 t$		
Полигармонический	$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^m (a_n \cos 2\pi f_n t + b_n \sin 2\pi f_n t)$ $a_n = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \cos 2\pi f_n t dt$ $n = 1, 2, 3, \dots$ $s(t) = s_0 + \sum_{n=1}^m s_n \cos(2\pi f_n t - \varphi_n)$ $s_0 = \frac{a_0}{2}$ $s_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$ $n = 1, 2, 3, \dots$ $\varphi_n = \arctg(b_n / a_n)$ $n = 1, 2, 3, \dots$		

Почти периодический	$s(t) = \sum_{n=1}^m s_n \sin(2\pi f_n t + \varphi)$		
Переходной	$s(t) = \begin{cases} A e^{-bt} \cos bt, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$ $s(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(f) e^{-i2\pi ft} df$		
Случайный	Random(t)		

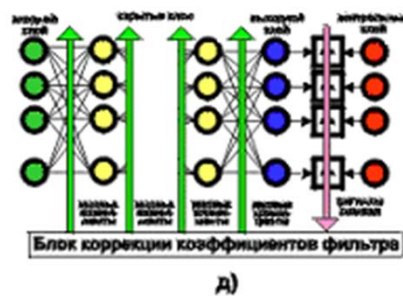
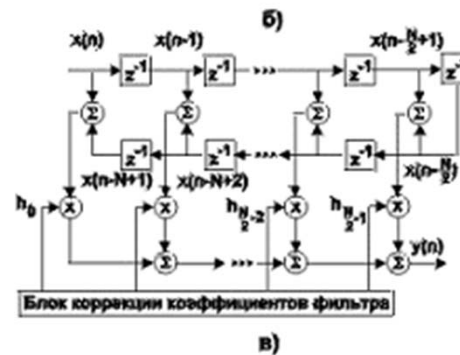
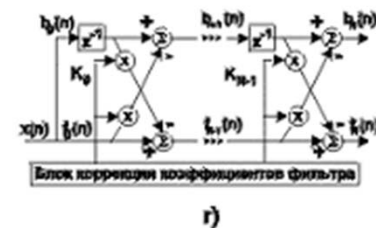
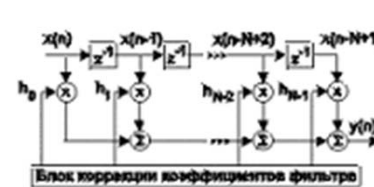
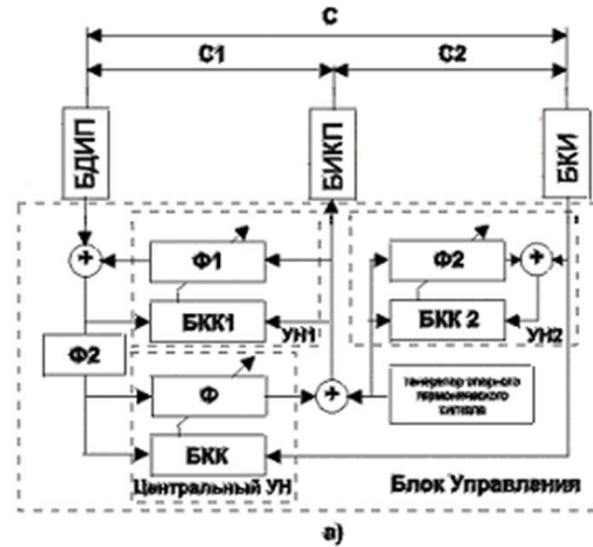
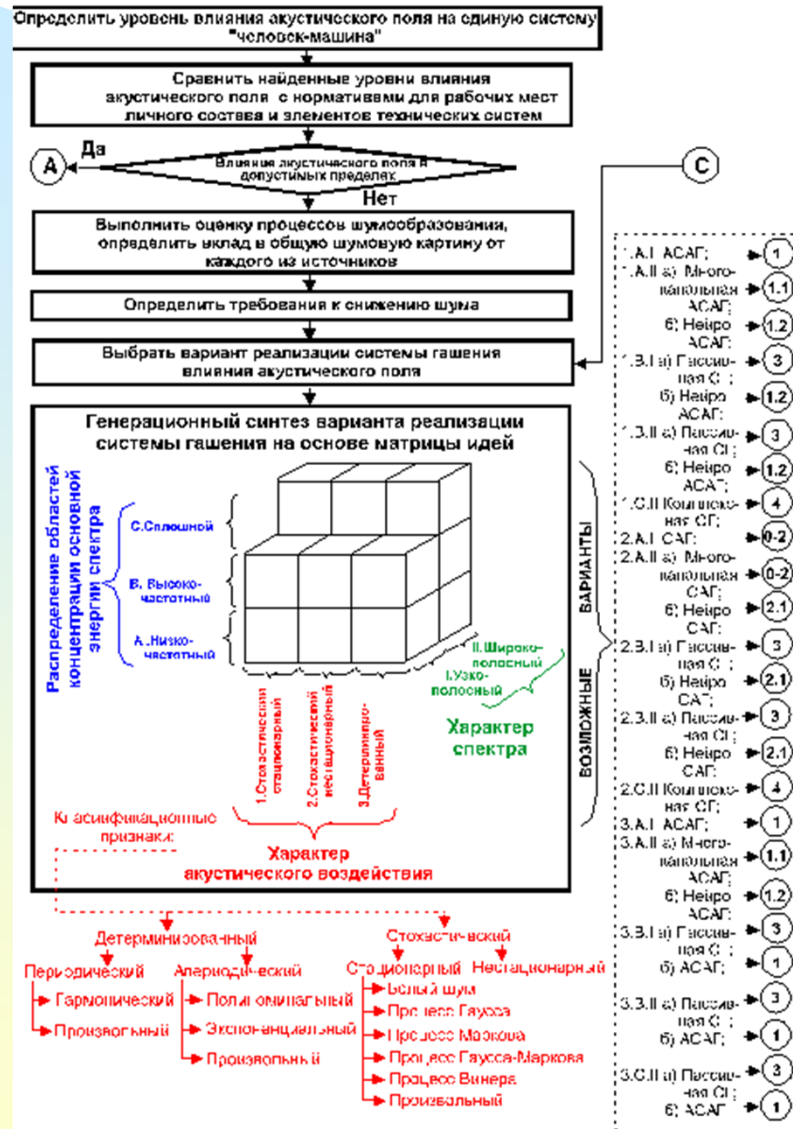
Обозначения:  $s(t)$  - значение перемещения в момент времени  $t$ ;  $s$  - амплитуда;  $\omega = 2\pi f_0$  - угловая частота;  $f_0$  - частота колебаний;  $\varphi$  - начальная фаза колебаний, измеряемая в радианах;  $f$  - основная частота полигармонического процесса;  $a_n, b_n$  - коэффициенты Фурье.

**При проектировании САВ вибрационные воздействия рассматриваются с точки зрения цифровой обработки сигналов**

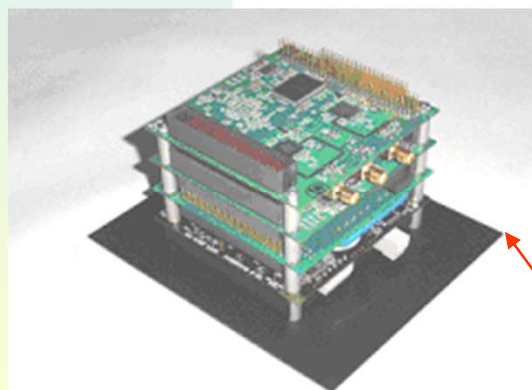
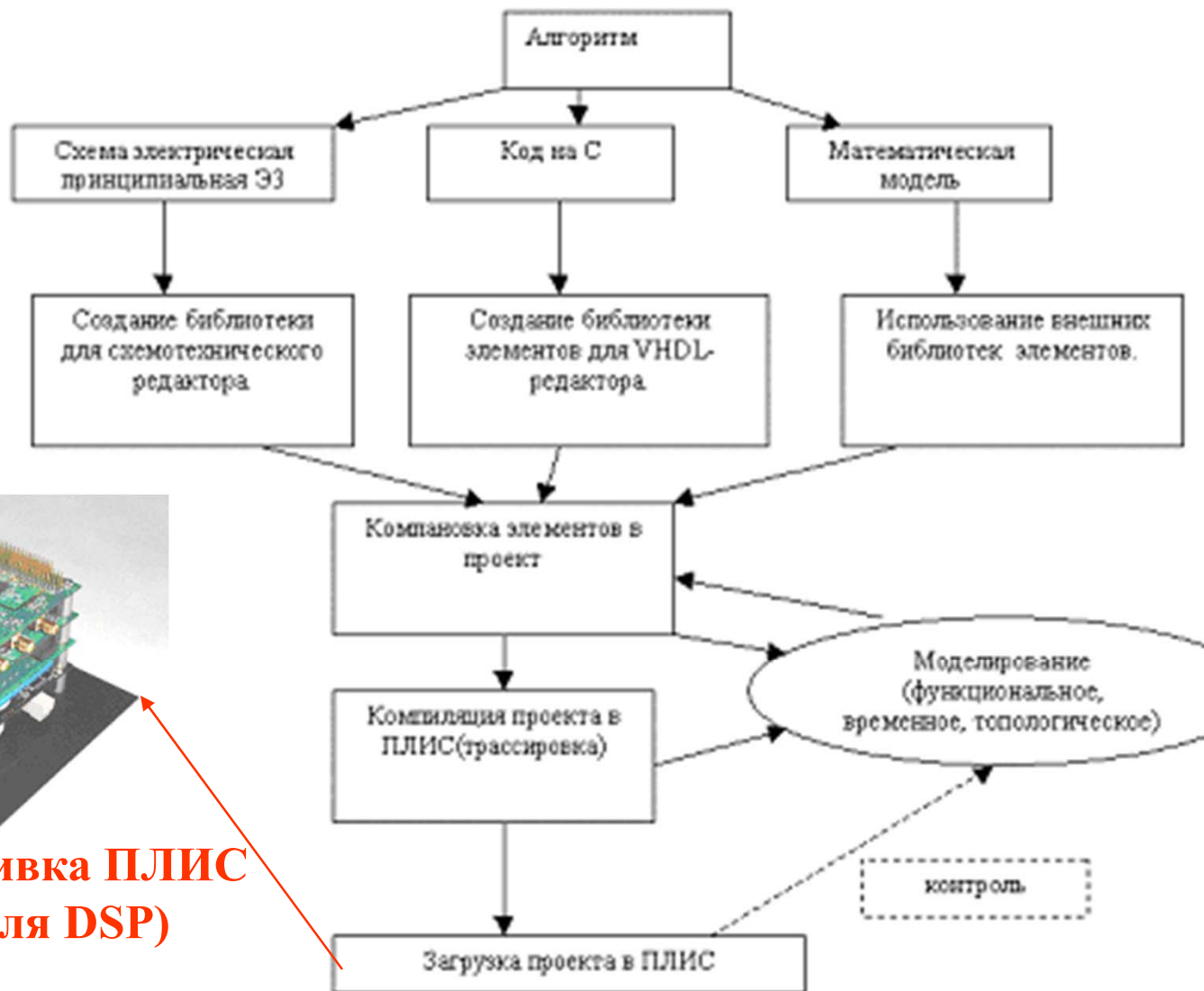
# Методы управления САВ



# Методология генерационного синтеза САВ на основе IP CORE



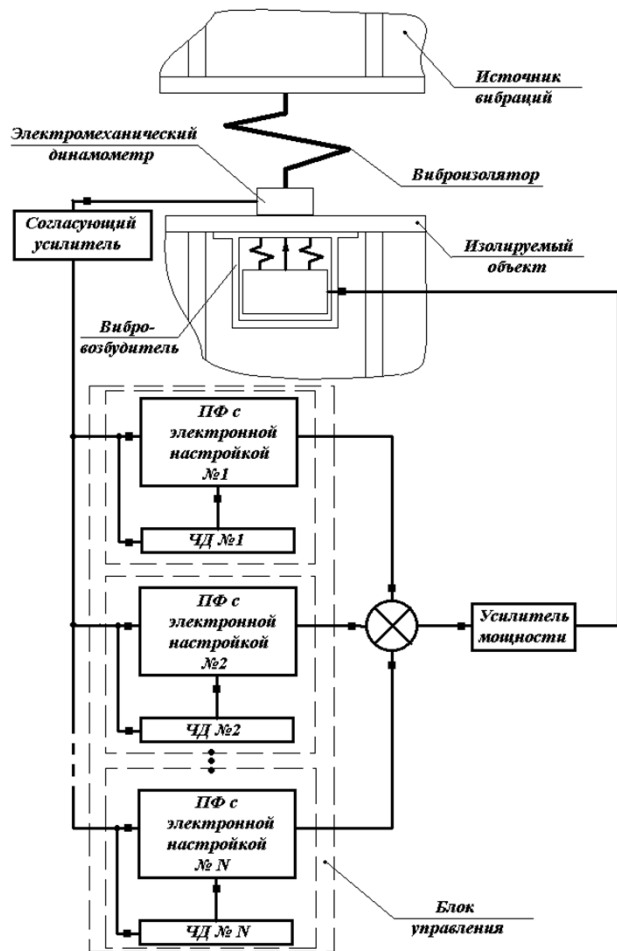
# Методология генерационного синтеза САВ на основе IP CORE



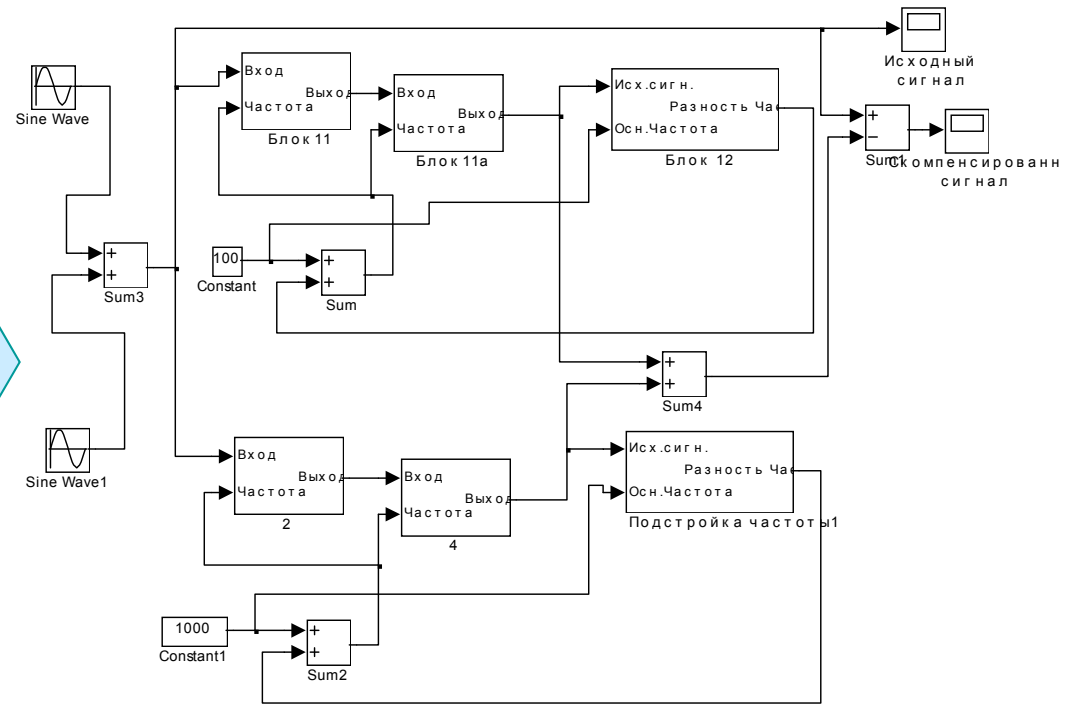
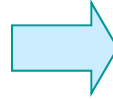
**Результат: прошивка ПЛИС  
(программа для DSP)**



# Переход от структуры к математической модели САВ



**Структурная  
схема**



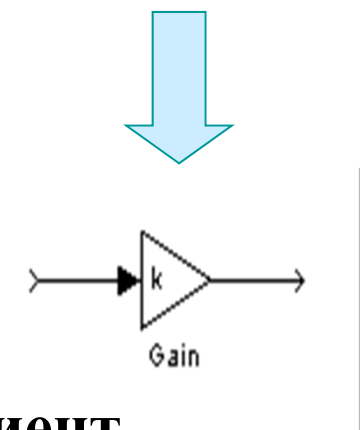
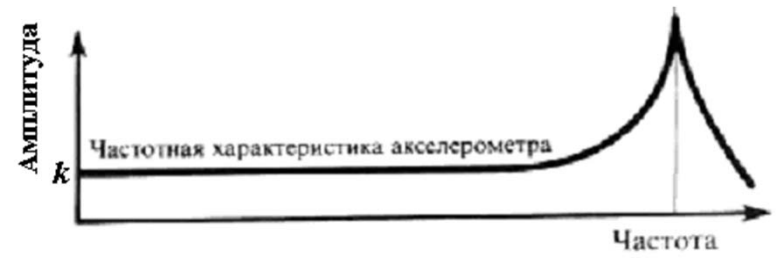
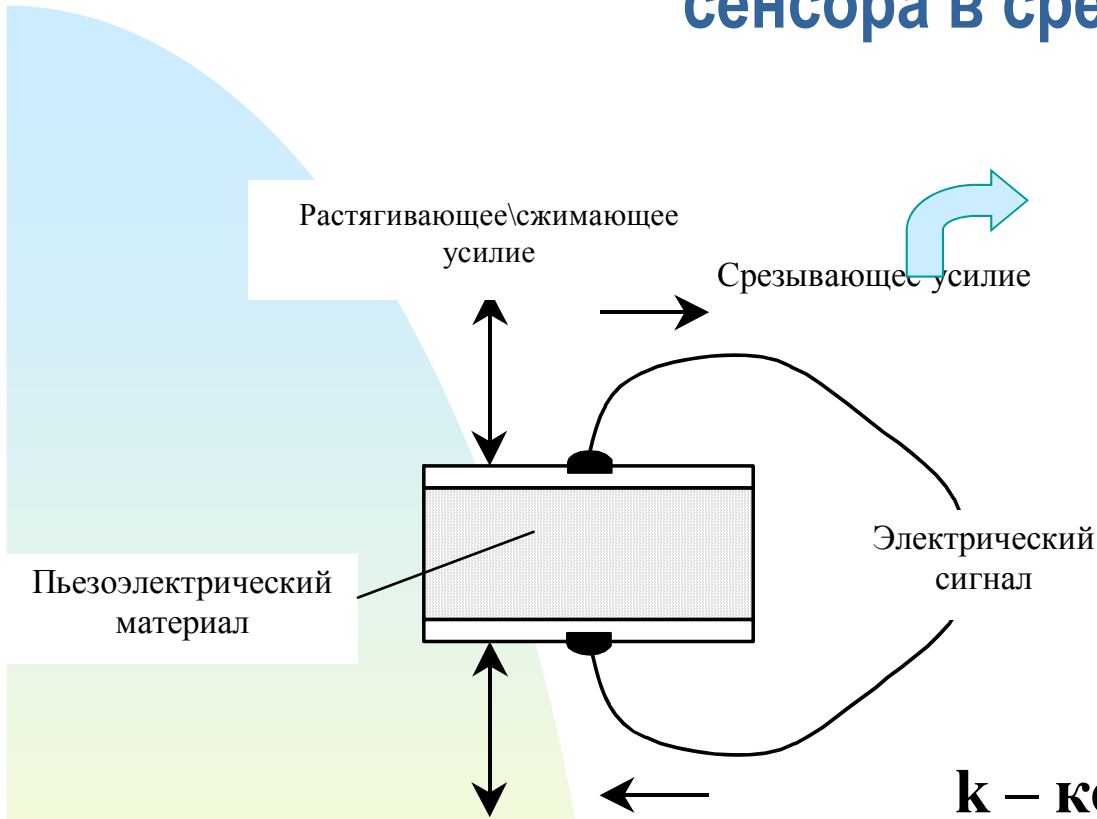
**Математическая  
модель в системе  
MatLab**



# Классификация сенсорных элементов



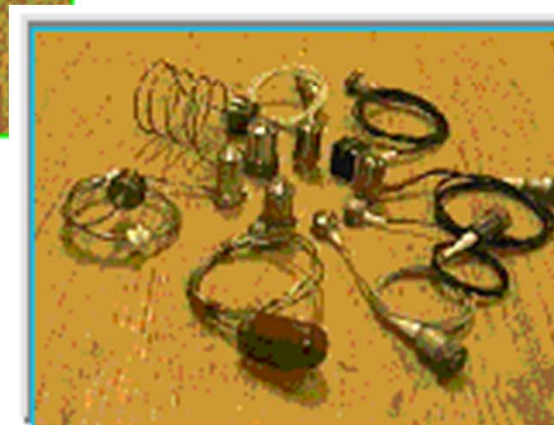
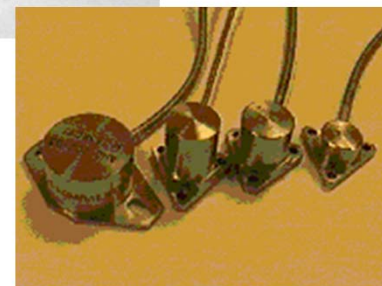
# Синтез математической модели сенсора в среде MatLab



**Пьезоэлектрический акселерометр**

**к – коэффициент чувствительности датчика, в диапазоне частот обрабатываемых САВ имеет постоянную величину**

## Примеры средств регистрации



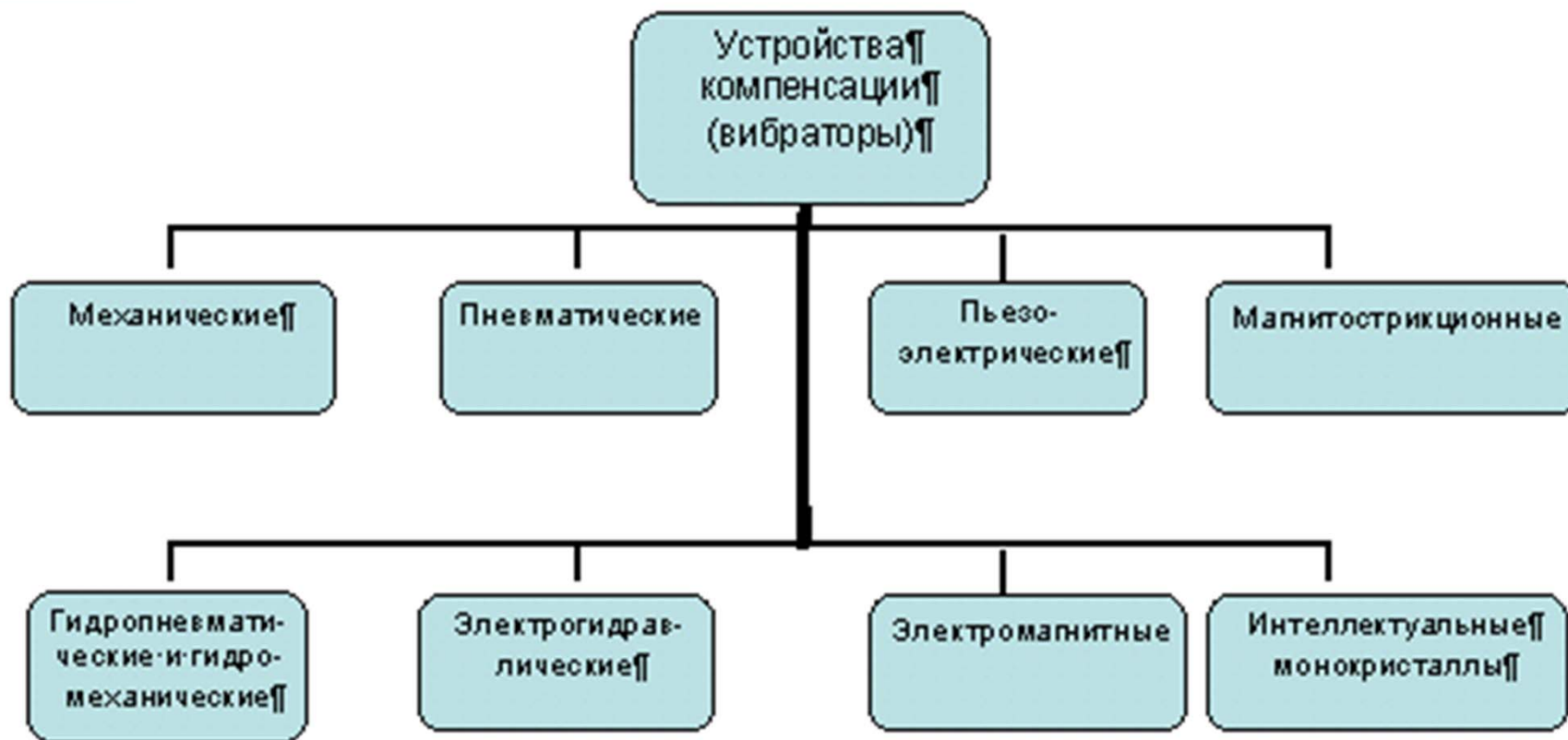
Акселерометры, выпускаемые  
НПО «Измерительной техники»

## Синтез пространственного размещения датчиков

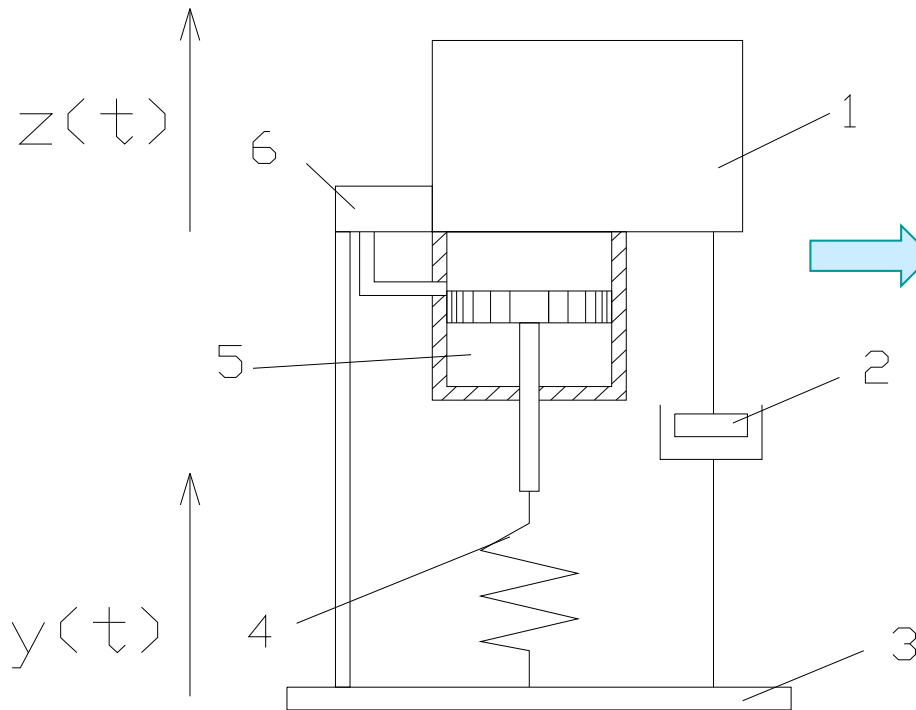


Для синтеза пространственного размещения датчиков используются как итерационно-оптимизационные процедуры, так и методы на основе сеточной аппроксимации объекта типа среда-конструкция.

# Классификация компенсаторных устройств



# Синтез математической модели компенсаторного устройства в среде MatLab



Структурная схема

гидромеханического компенсатора

- 1 – изолируемый объект
- 2 – демпфер
- 3 – вибрирующее основание
- 4 – упругий элемент
- 5 – цилиндр
- 6 – регулятор относительного положения.

$$T_z = \sqrt{\frac{v^2 + (\eta - 2Dv^2)^2}{v^2(1-v^2)^2 + (\eta - 2Dv^2)^2}}$$

Передаточная характеристика компенсатора

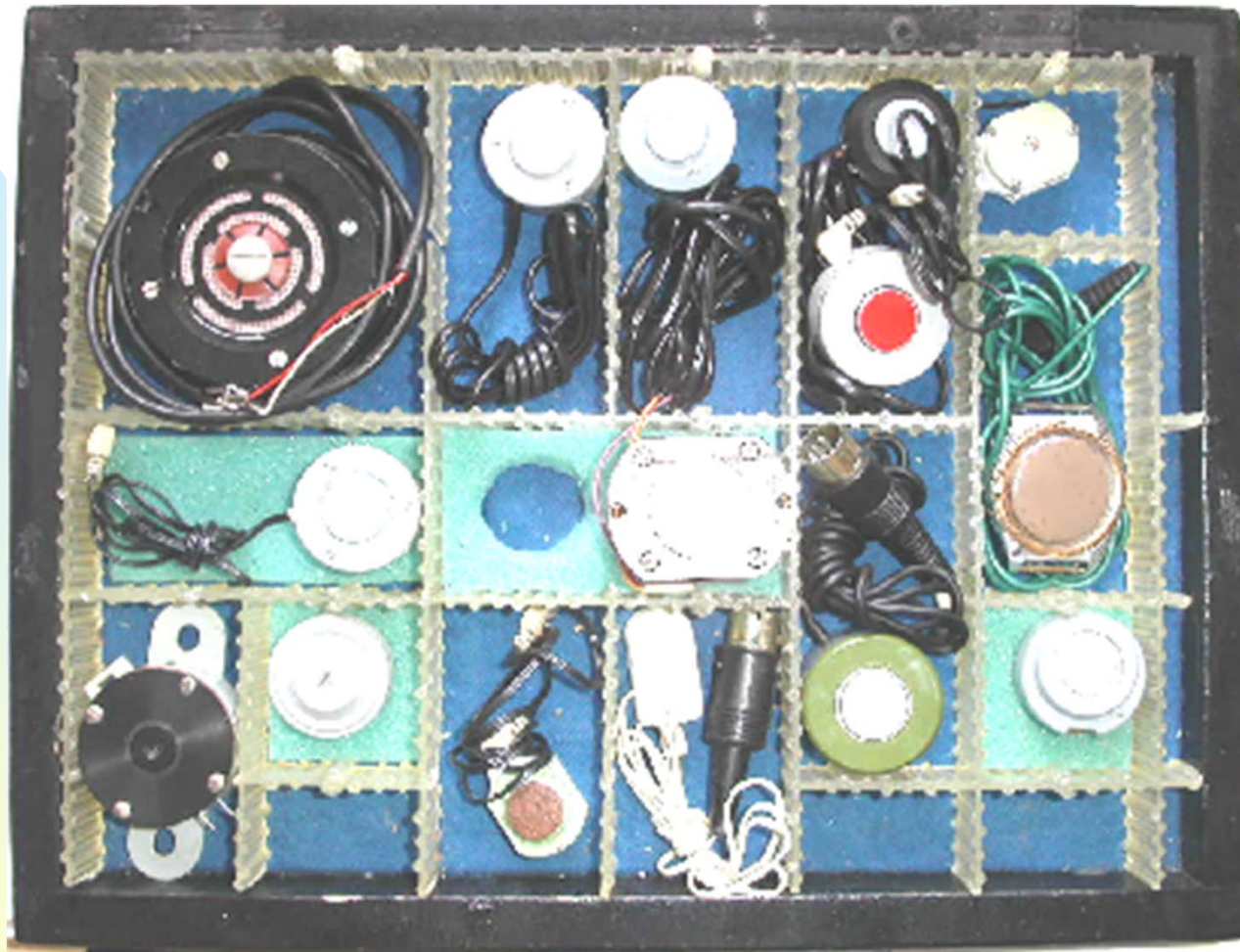
$$\frac{2^*Ds^2+w0.s+n^*w0^*w0}{s^3+2^*Ds^2+w0.s+n^*w0^*w0}$$

Transfer Fcn

Передаточное звено в системе MatLab в форме Лапласа



## Примеры реализации компенсаторов



Наборы электродинамических компенсаторов, созданных в ИМАШ РАН

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра "Проектирование и технология производства ЭА", 2003



## Примеры реализации компенсаторов

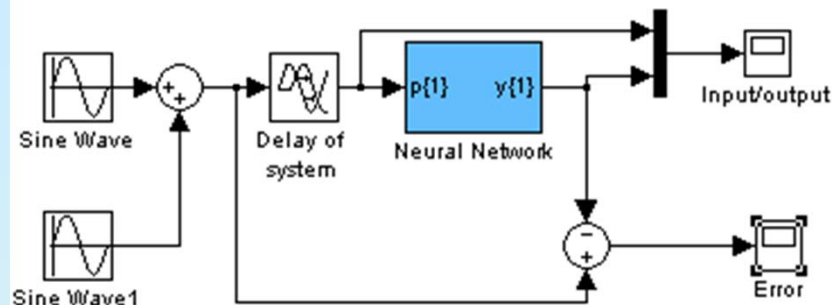


Фотография силовых элементов на базе "интеллектуальных"  
монокристаллических материалов  
[ЦНИИ Робототехники - <http://rtc.spbnews.ru/>].

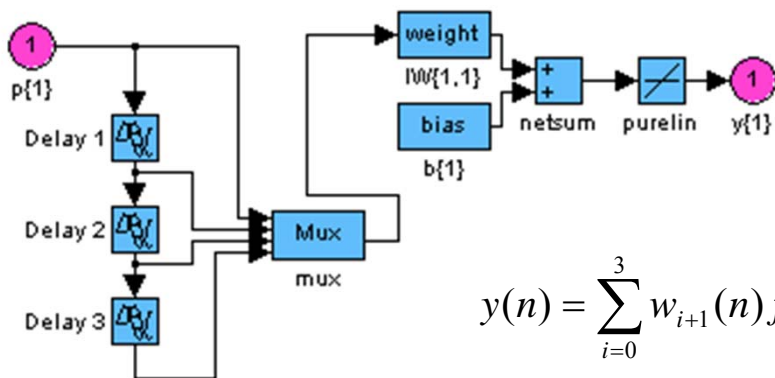
# Классификация нейронных САВ



# Математическая модель нейроадаптивной САВ с линейной нейронной сетью



Математическая модель с  
возможностью прогноза на 3 такта  
рабочего времени

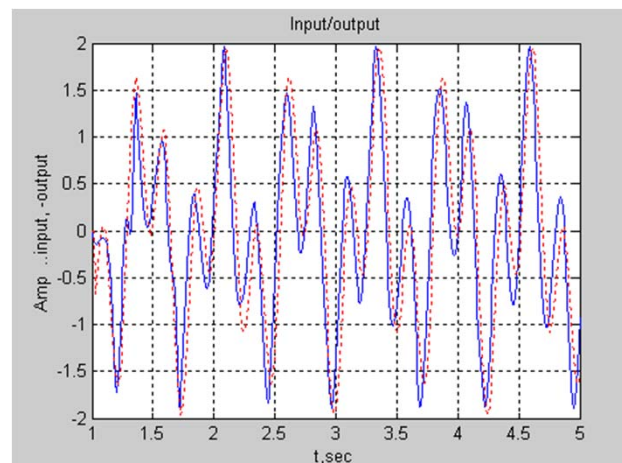


$$y(n) = \sum_{i=0}^3 w_{i+1}(n) f(n-i)$$

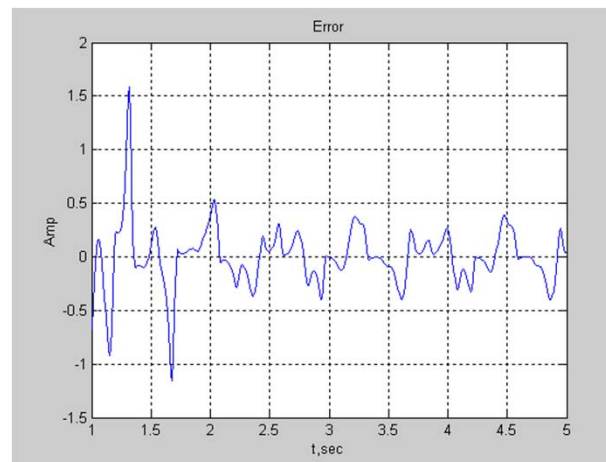
где

Нейронная сеть данной модели имеет  
следующую передаточную  
характеристику:

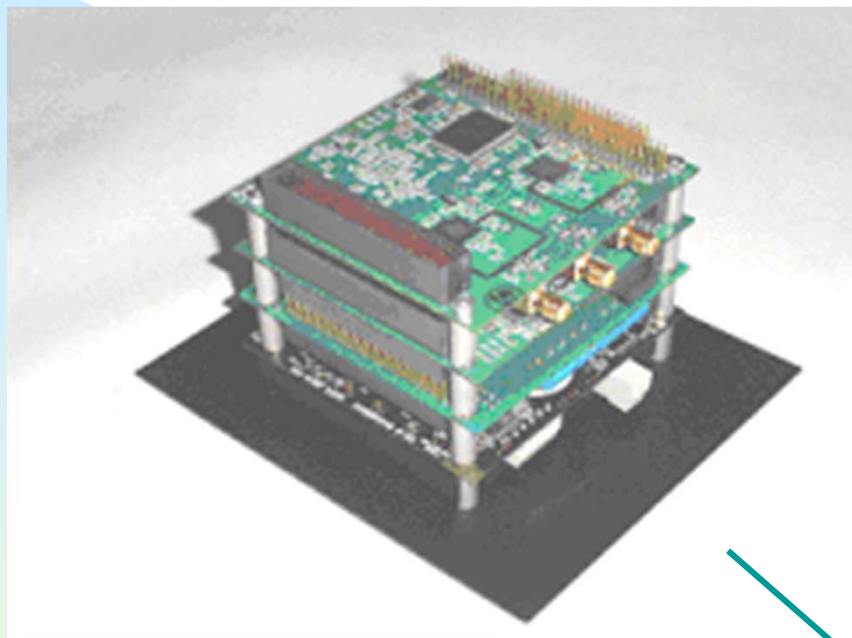
$$\mathbf{W}_n = (w_1(n) \quad w_2(n) \quad w_3(n) \quad w_4(n)) = \mathbf{W}_{n-1} + \alpha \nabla_w \mathbf{J} \quad \text{Результат компенсации}$$



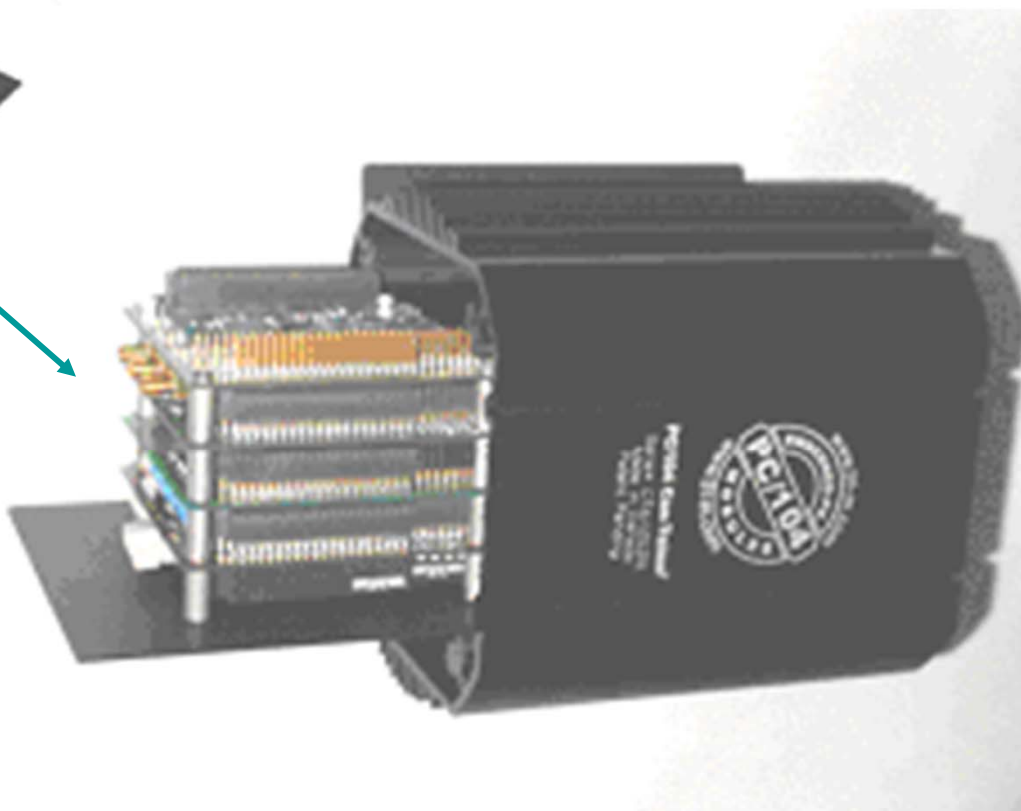
Пунктиром обозначен входной сигнал,  
сплошной - компенсирующий



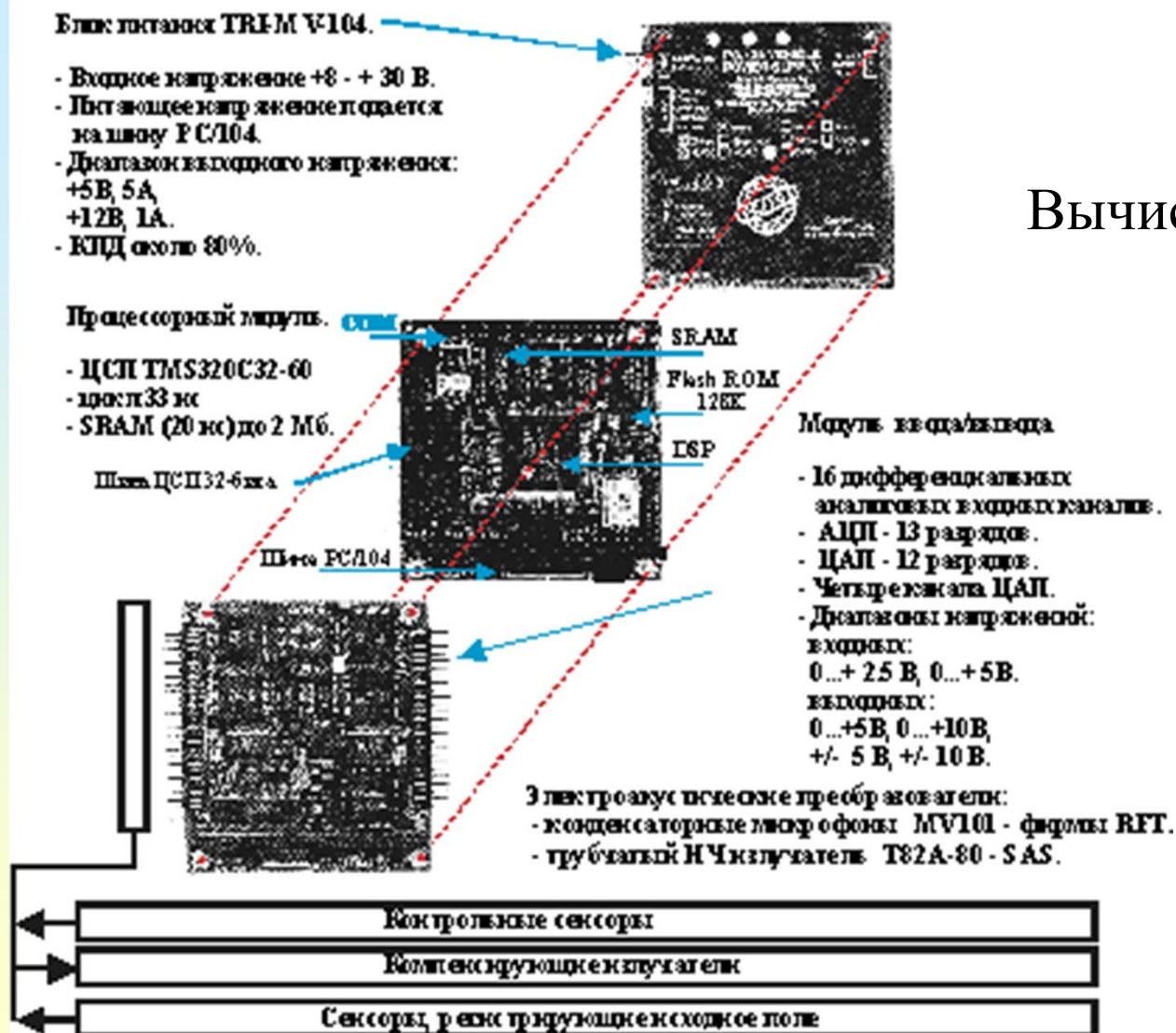
## Пример реализации блока управления САВ в стандарте РС-104+



Вычислитель на базе  
ПЛИС фирмы XILINX



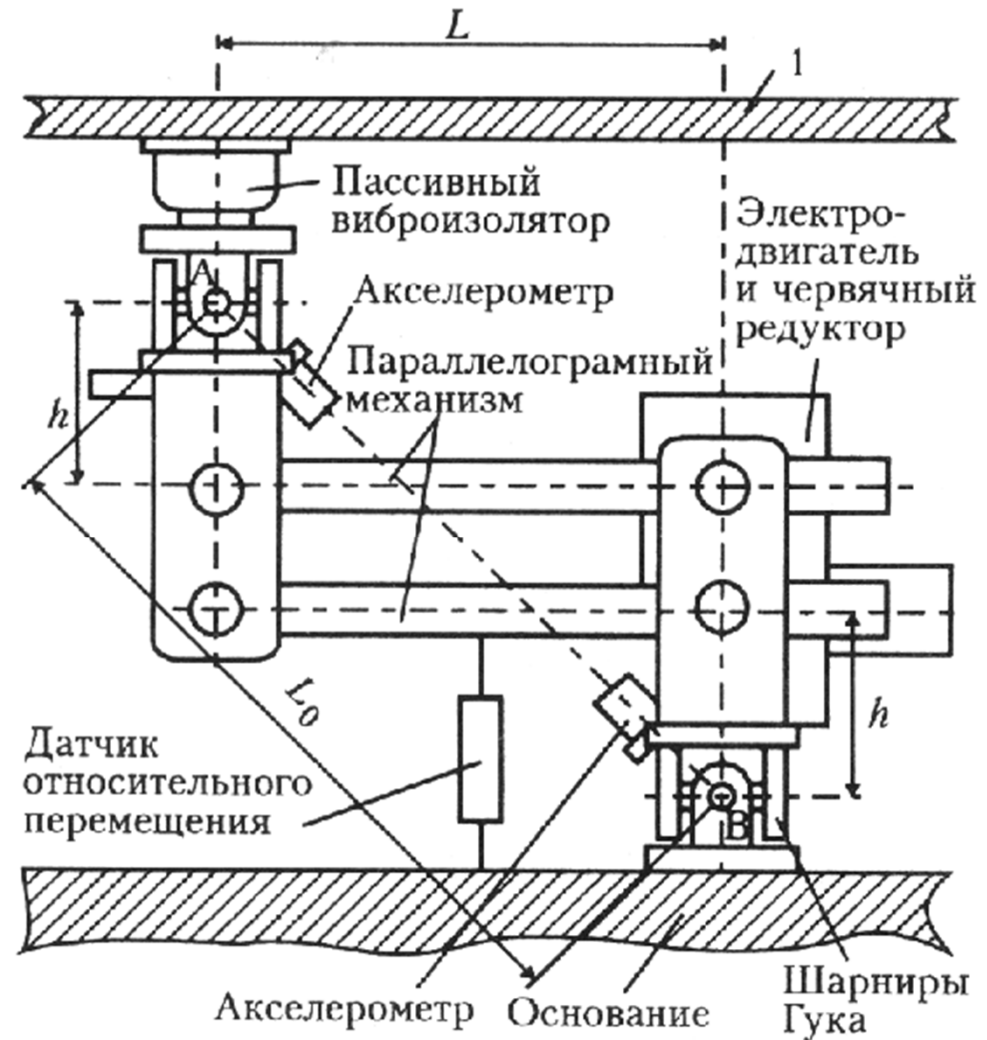
# Пример реализации блока управления САВ в стандарте РС-104



Вычислитель на базе DSP TI



# Экспериментальные исследования САВ



Фотография и функциональная схема экспериментальной установки, созданной в ИМАШ

# Экспериментальные исследования САВ

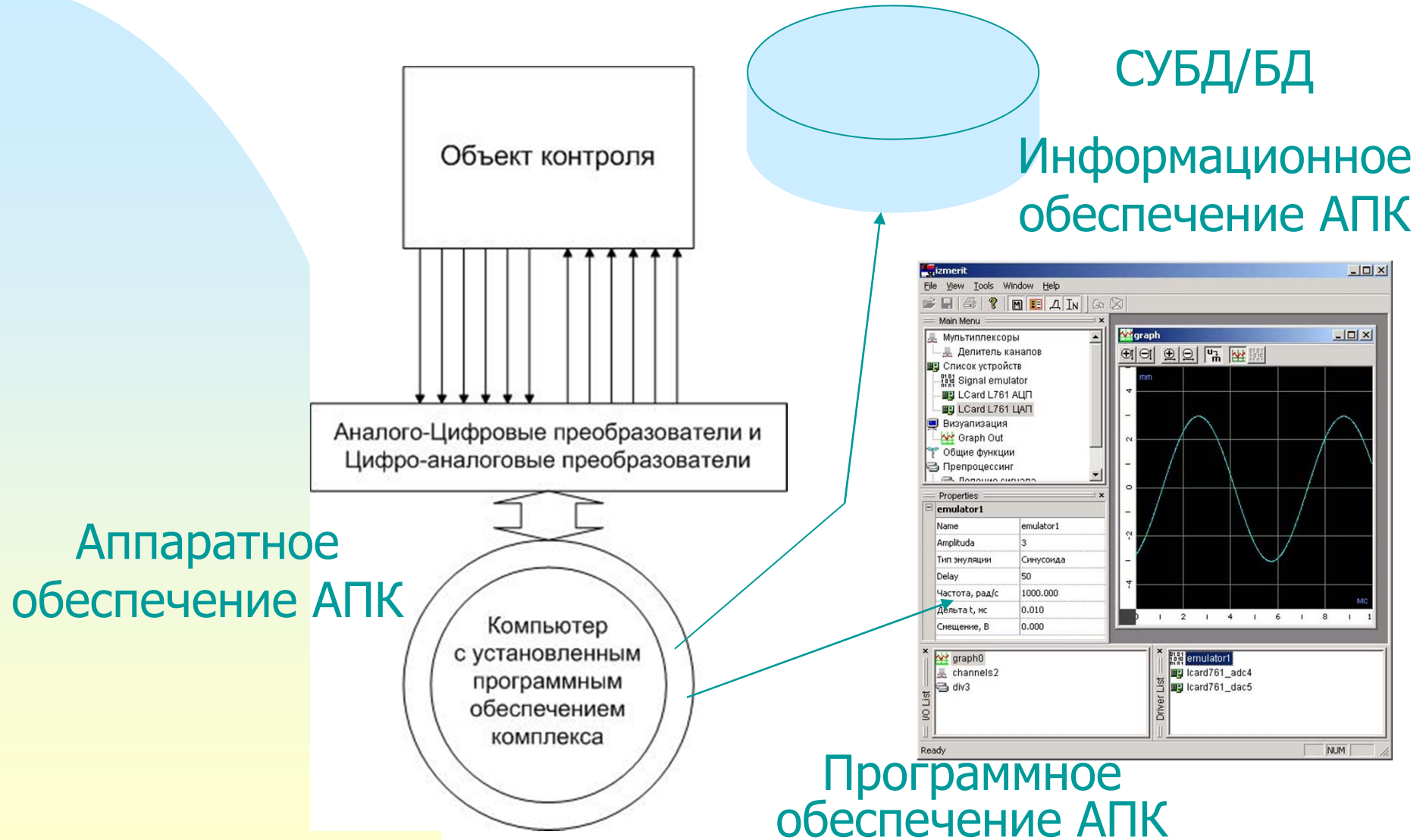


Экспериментальная установка на базе электродинамического вибростенда, созданная в МГТУ им.Н.Э.Баумана

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра "Проектирование и технология производства ЭА", 2003



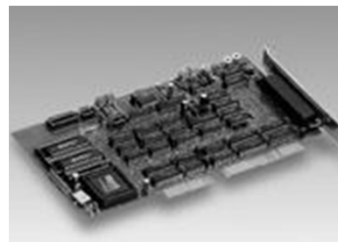
# Измерительная подсистема



# Измерительная подсистема: Аппаратное обеспечение

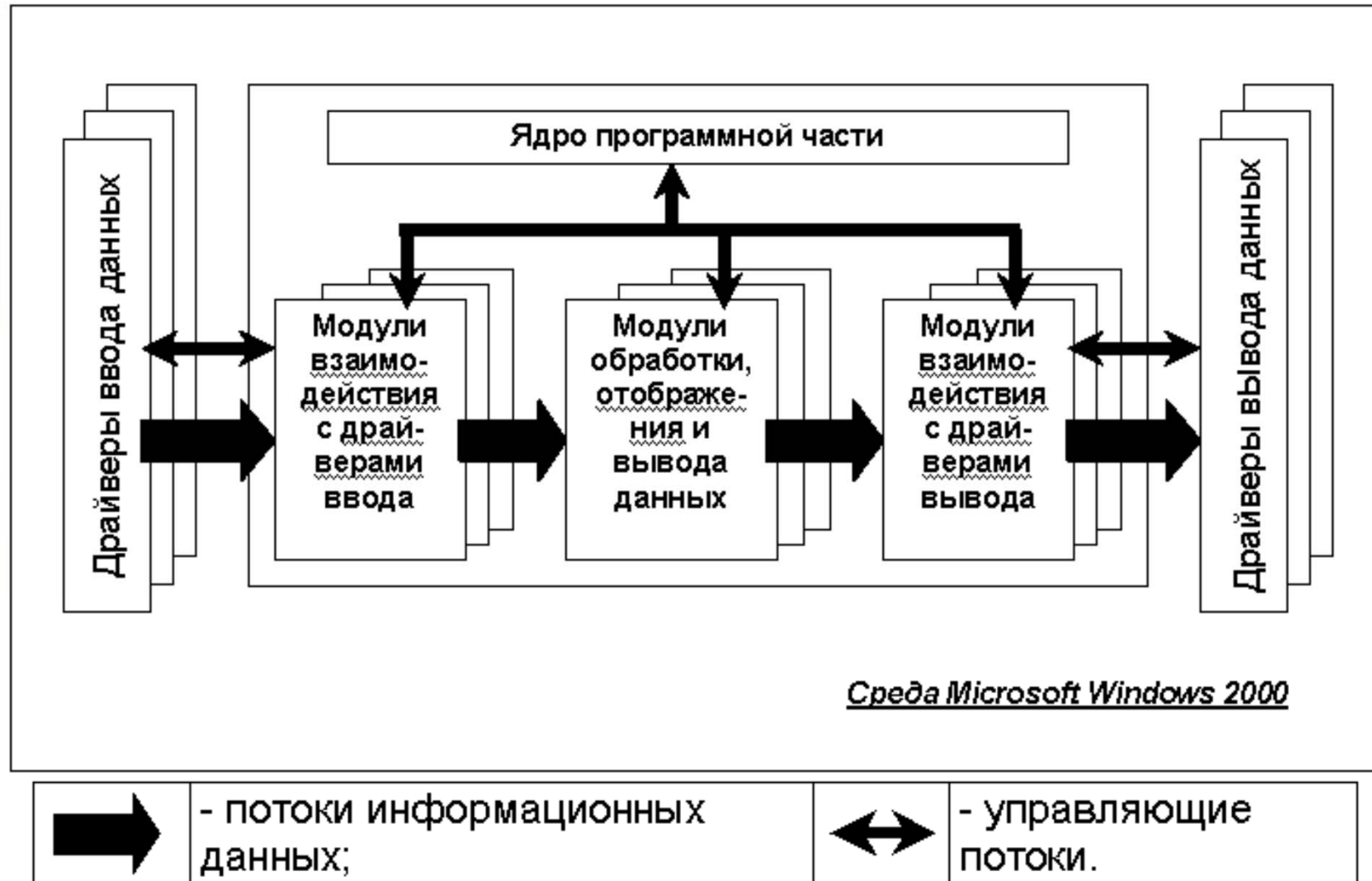
Таблица 1. Сравнительные характеристики АЦП/ЦАП плат расширения

Имя производителя	Название платы	Установленный DSP	Число каналов	Разрядность АЦП	Частота оцифровки, кГц	Цена, \$
ЗАО «Л-Кард»	L-154	без DSP	32/16 диф	12	до 70	135
ЗАО «Л-Кард»	L-761	ADSP-2185	32/16 диф	14	до 125	390
ЗАО «Л-Кард»	L-780	ADSP-2185	32/16 диф	14	до 400	390
ЗАО «Л-Кард»	L-783	ADSP-2186	32/16 диф	12	до 3000	430
ЗАО «Л-Кард»	L-1450	без DSP	32/12 диф	14	до 400	280
ЗАО «Руднев-Шиляев»	ЛА-70	без DSP	16/8 диф	12	до 14	95
ЗАО «Руднев-Шиляев»	ЛА-7*	без DSP	16/8 диф	16	до 142	400
ЗАО «Руднев-Шиляев»	ЛА-2М5	без DSP	16/8 диф	12	до 500	250

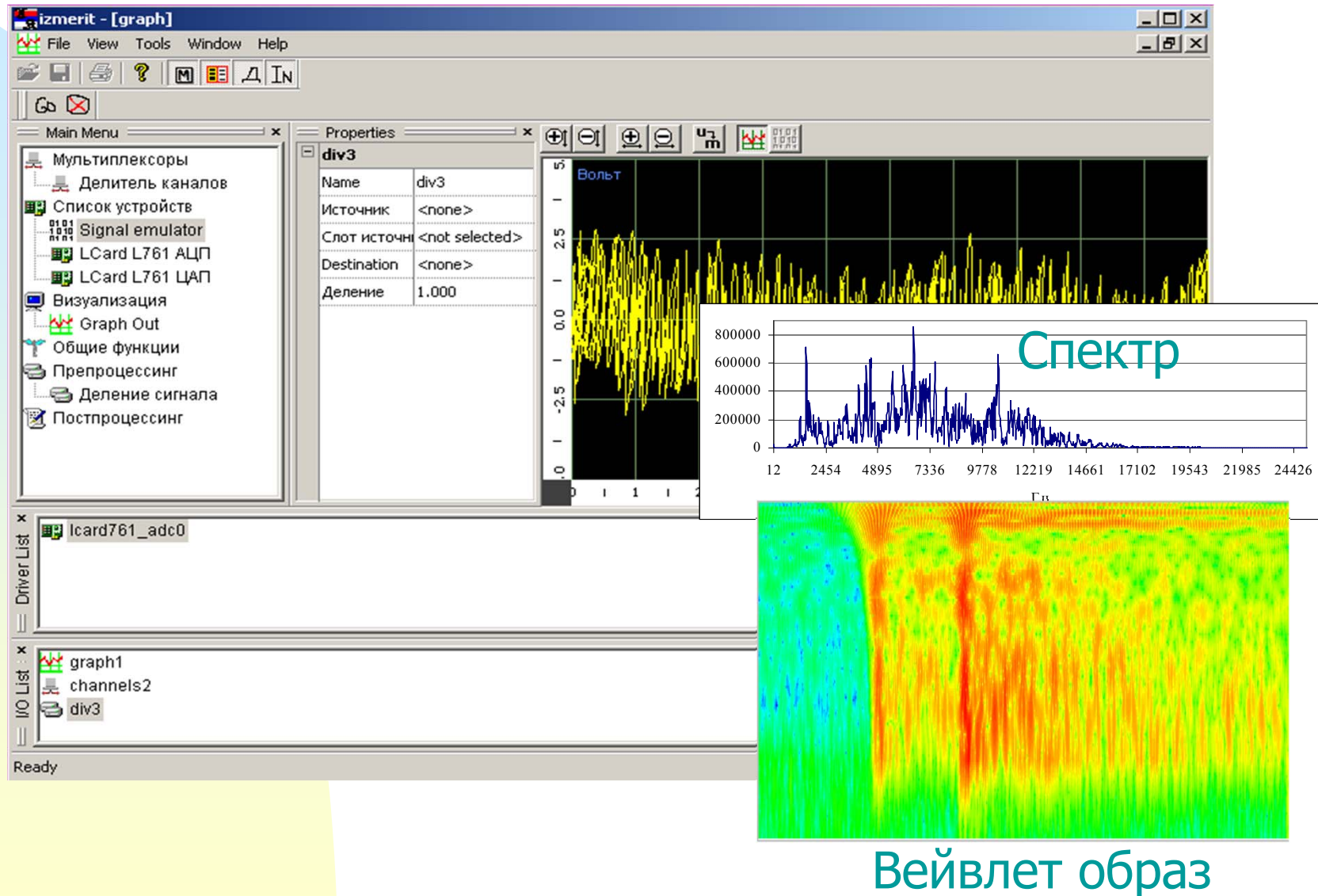


# Измерительная подсистема

## Прикладное программное обеспечение

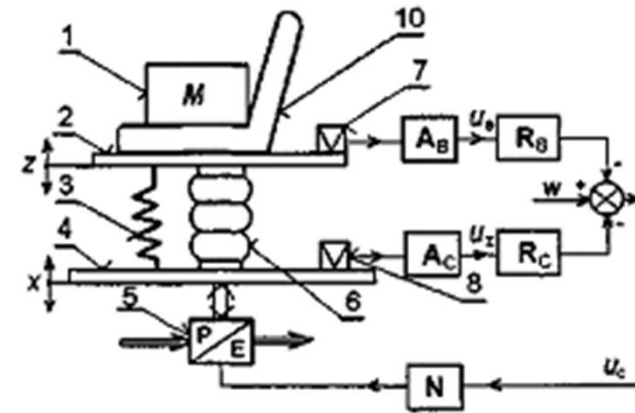
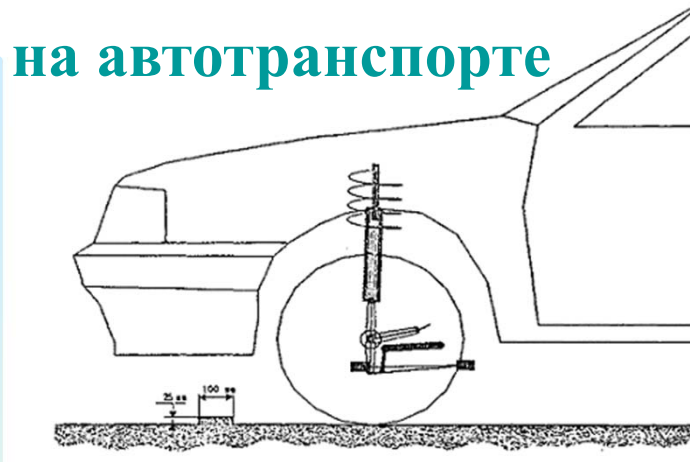


# Измерительная подсистема: Программное обеспечение ЦОС

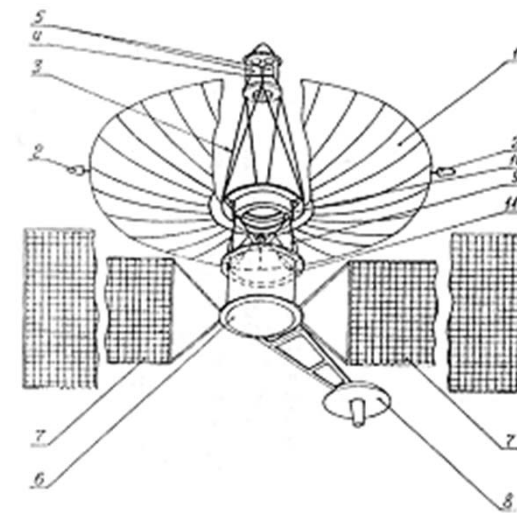


# Варианты применения САВ

## САВ на автотранспорте

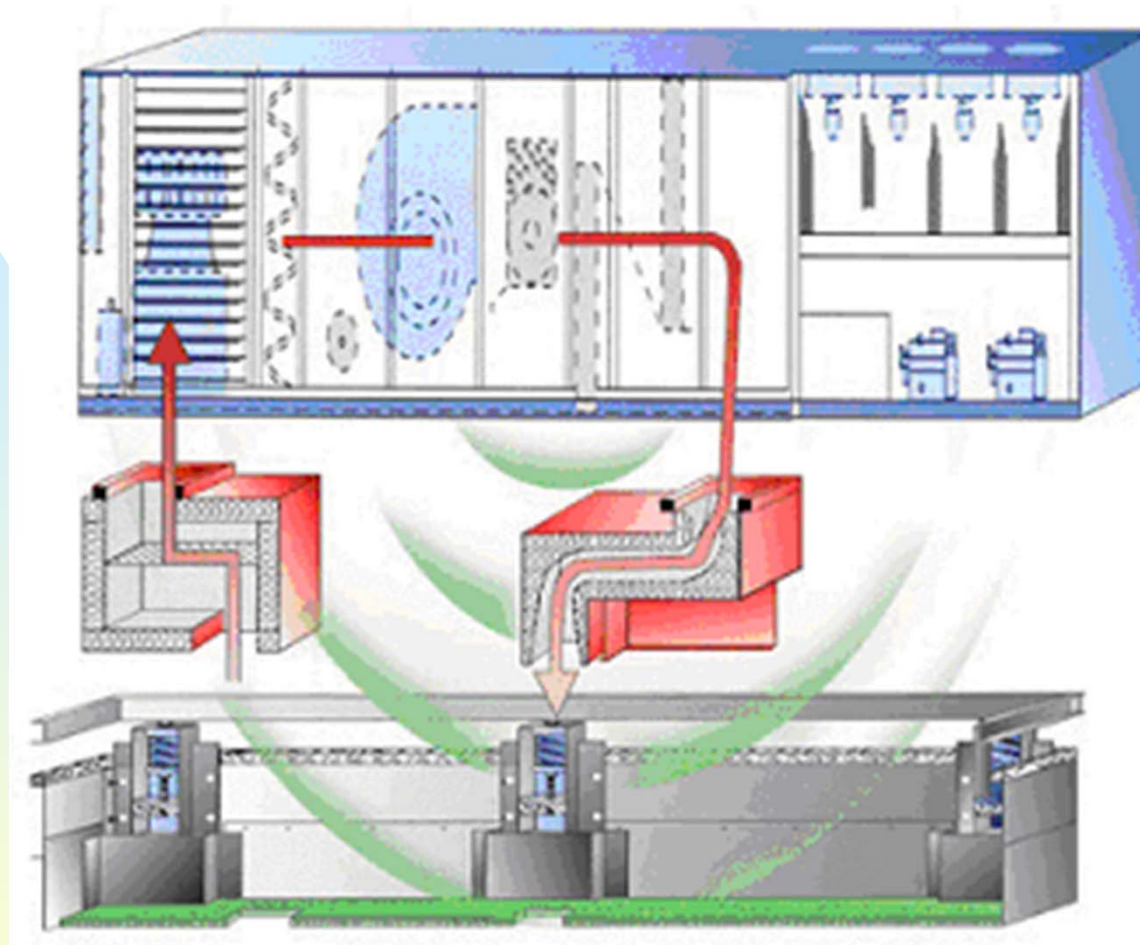


## САВ конструкций космических систем





## Варианты применения САВ



### Виброзащитные системы от промышленных и бытовых вибраций

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра "Проектирование и технология производства ЭА", 2003

# Варианты применения САВ

## Виброзащитные системы в авиации



МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра "Проектирование и технология производства ЭА", 2003



# Варианты применения САВ

## Виброзащитные системы нанотехнологических измерительных комплексов

