

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ АКТИВНОЙ ВИБРОЗАЩИТЫ

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

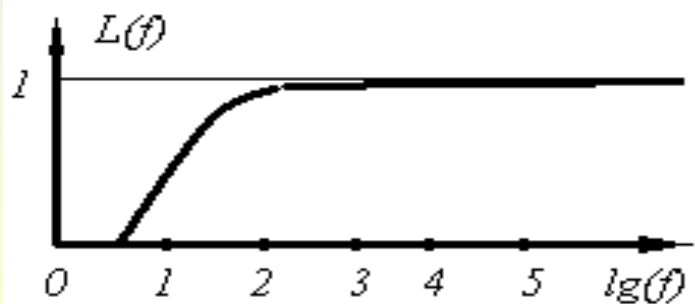
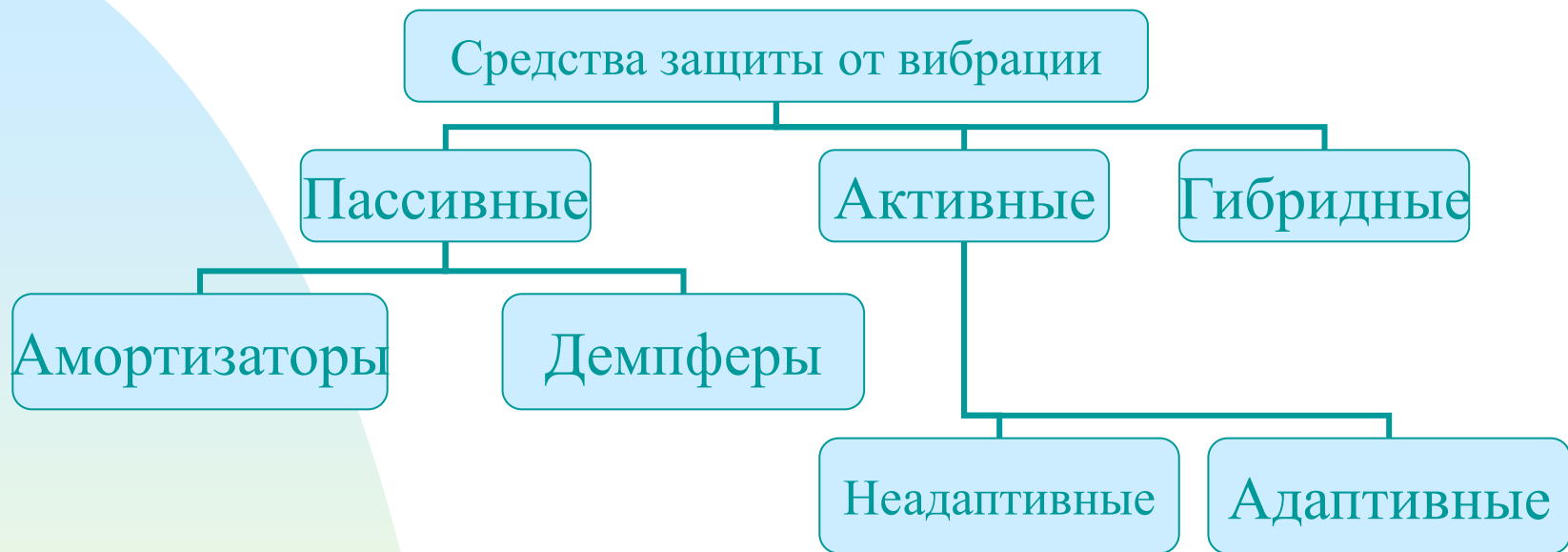
№	Категории ЭА	Вибрации		Удары		Линейные перегрузки g	Акустический шум	
		Частота, Гц	Ускорение, g, Н	Ускорение, g, Н	Длительность, мс		Частота, кГц	Давление, дБ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Наземная возимая	2...80	1...4	20...75	11	6	-	-
2	Наземная носимая	2...80	3...6	до 50	6	-	-	-
3	Морская	5...55	до 1,5	7...12	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

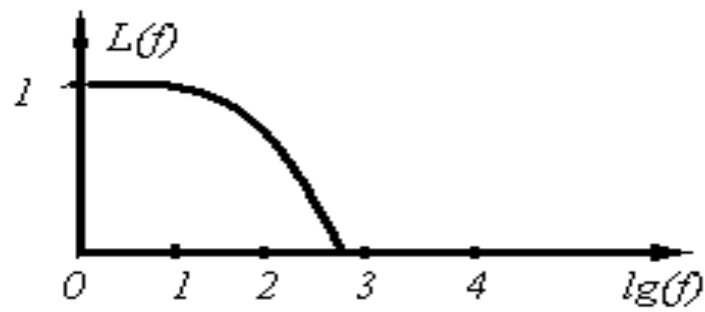


Обобщённая классификация средств защиты



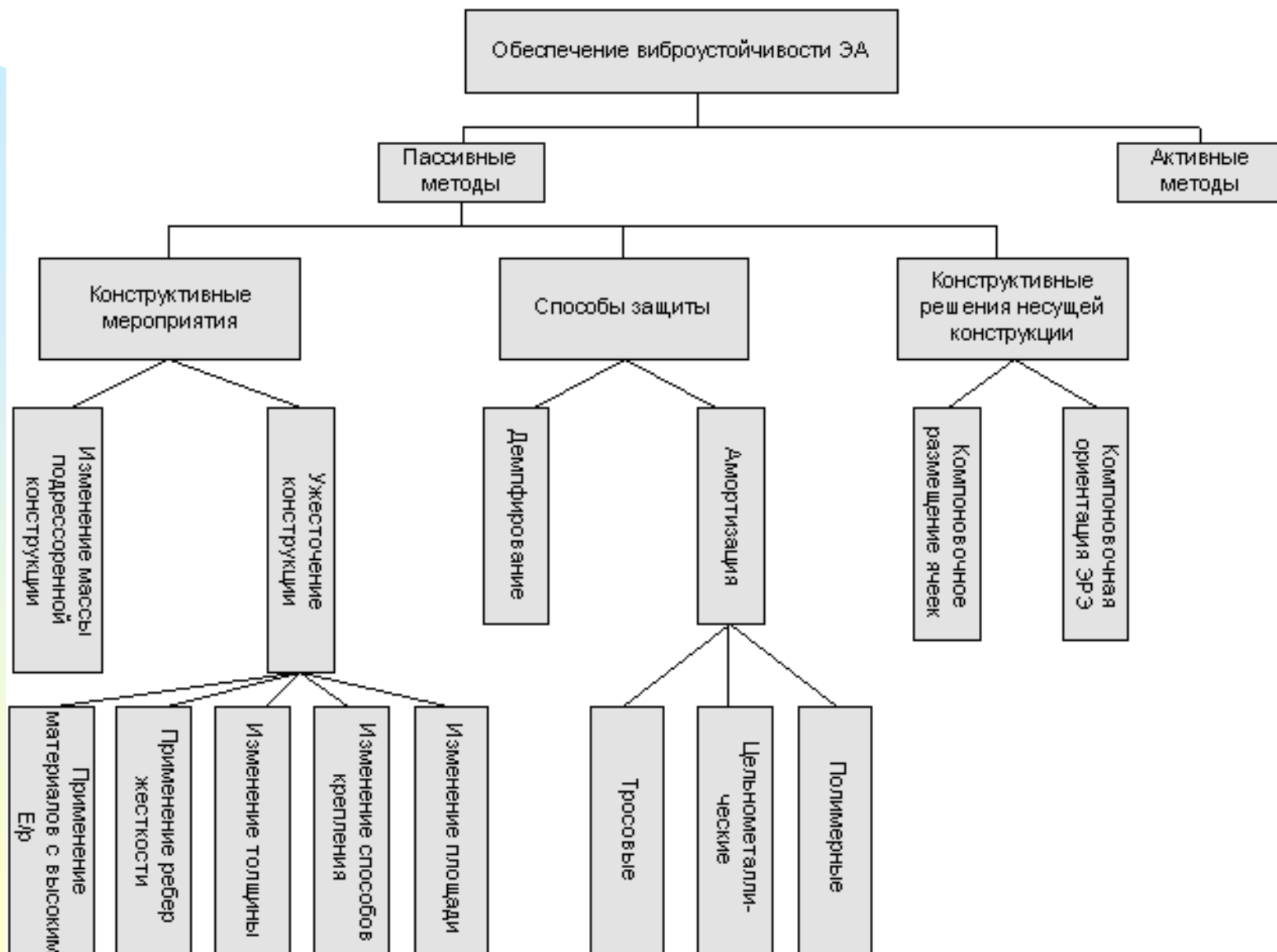
Пассивные

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



Активные

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.

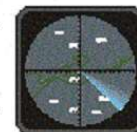
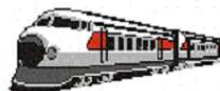


Вибрация и акустический шум от мощных энергоустановок и промышленных источников.

Источники механических воздействий



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



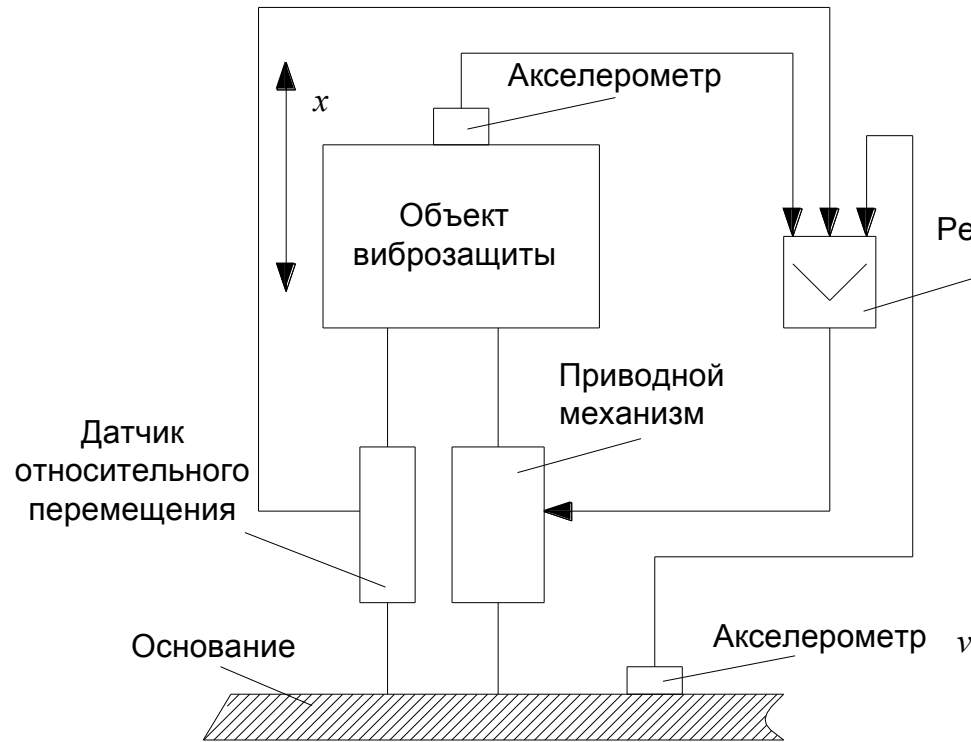
Механические колебания вызванные сейсмической активностью земной коры.

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.

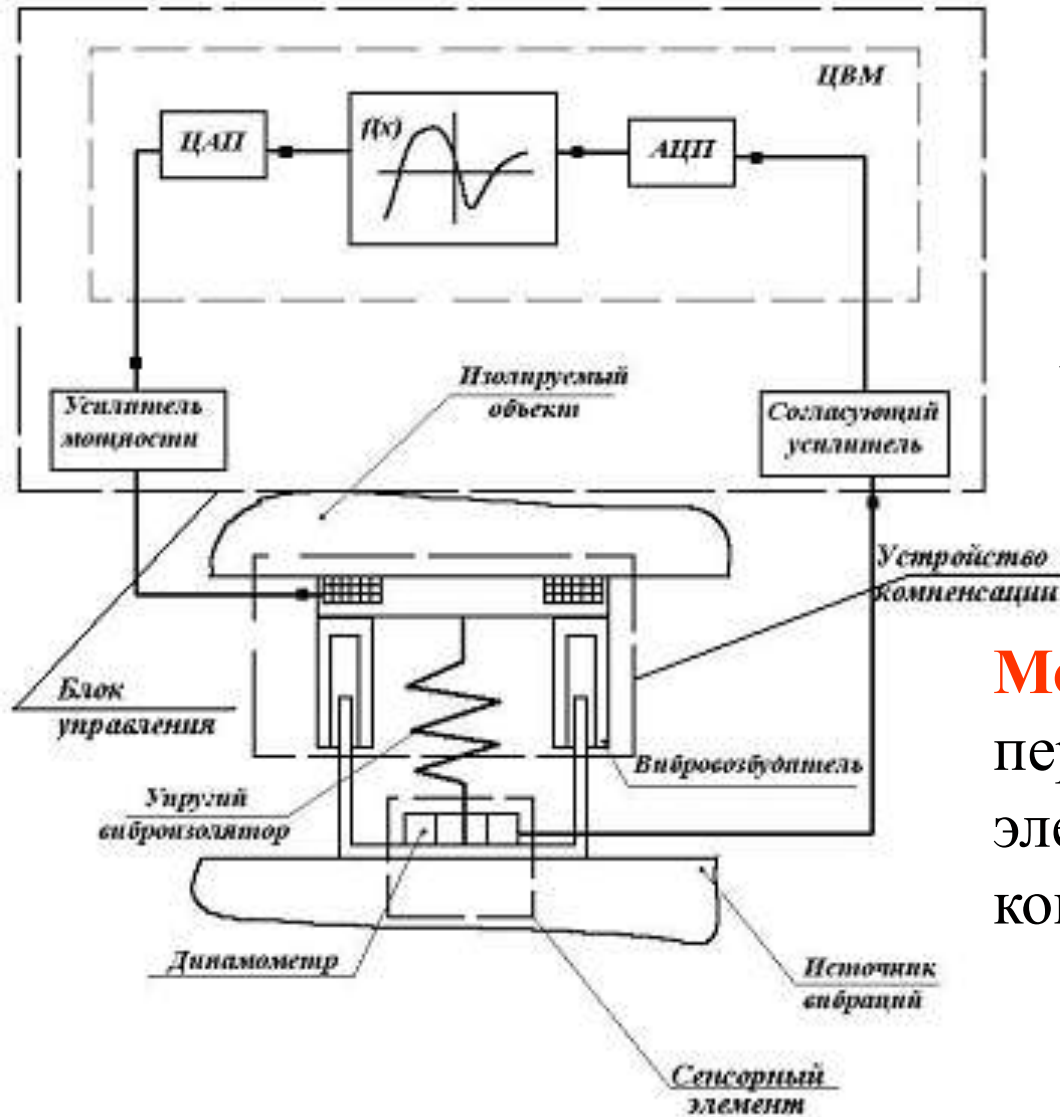
САВ формируют с помощью компенсирующих излучателей дополнительное гасящее поле с требуемыми пространственными и частотными характеристиками. Наложение на исходное поле гасящего поля приводит к их взаимной компенсации.

Классификация систем активной виброзащиты



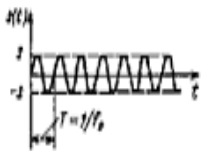
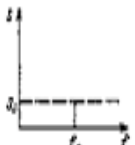
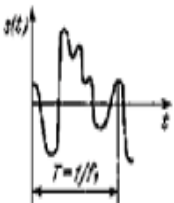
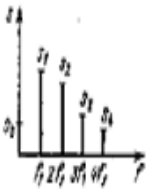
Структурная схема САВ

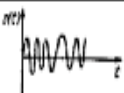
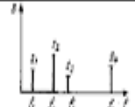
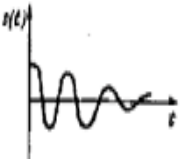
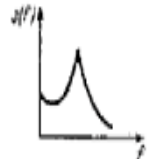
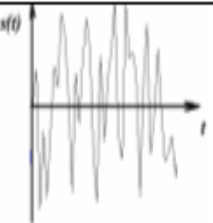
Представление САВ с точки зрения теории автоматического управления волновым полем.



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

Характеристики вибрационных сигналов

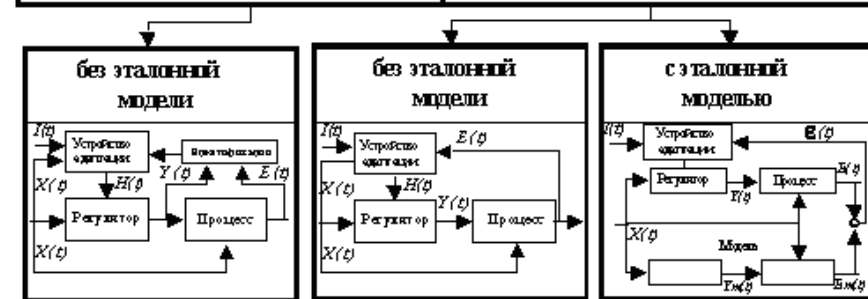
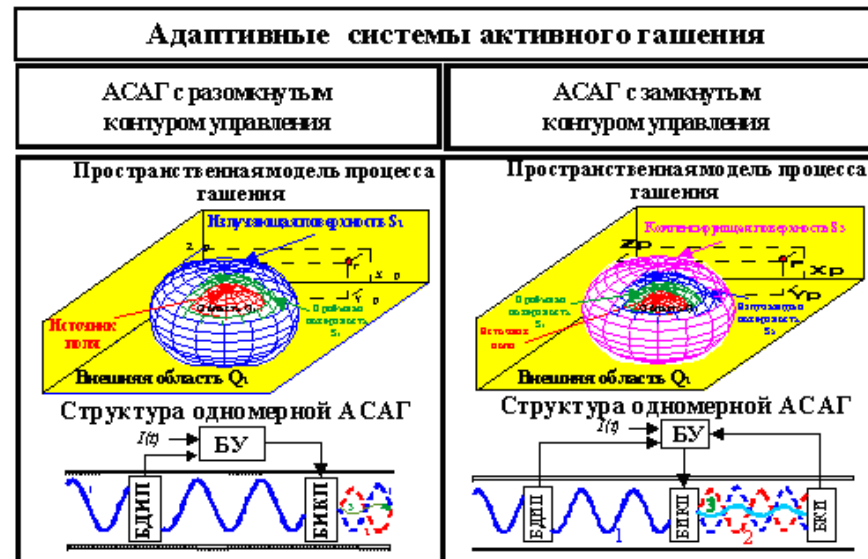
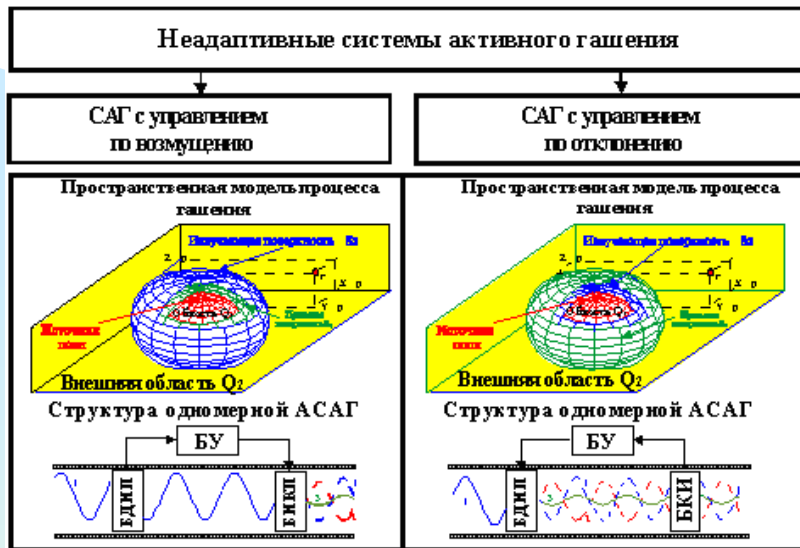
Вид процесса	Функция времени	Форма	Частотный спектр
Гармонический	$s(t) = s \sin(\omega t + \varphi)$ $s(t) = s \sin 2\pi f_0 t$		
Полигармонический	$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^m (a_n \cos 2\pi f_n t + b_n \sin 2\pi f_n t)$ $a_n = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \cos 2\pi f_n t dt$ $n = 1, 2, 3, \dots$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

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



Основные характеристики

Возмущение $X(t)$

1. Непрерывное заполнение приливной и гасящей поверхности приемниками и излучателями в идеальном случае.
2. Волновая прозрачность поверхностей в идеальном случае.
3. Известность и неизменность функции грина модели среды.
4. Требуется большого объема априорной информации об объекте управления.
5. Могут использоваться для гашения нестационарных полей при стационарности среды.

Основные характеристики

Возмущение $X(t)$

1. Необходимо обеспечить условия устойчивости работы.
2. Могут использоваться для гашения медленно меняющихся полей при небольшой нестационарности среды или конструкции.

Методология генерационного синтеза САВ на основе IP CORE

Определить уровень влияния акустического поля на одну систему "человек-машина"

Сравнить найденные уровни влияния акустического поля с нормативами для рабочих мест личного состава и элементов технических систем

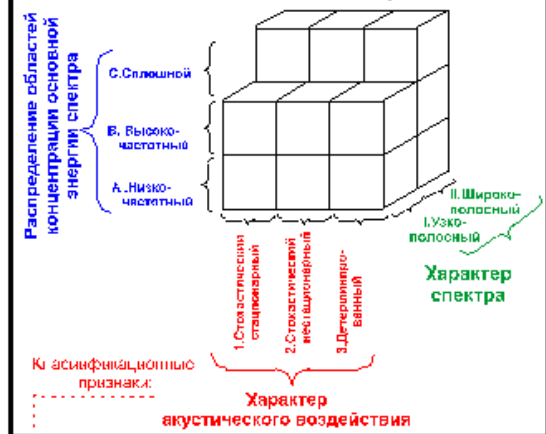
А Да
Влияние акустического поля в допустимых пределах

Нет
Выполнить оценку процессов шумообразования, определить вклад в общую шумовую картину от каждого из источников

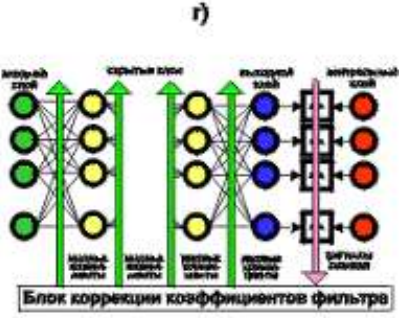
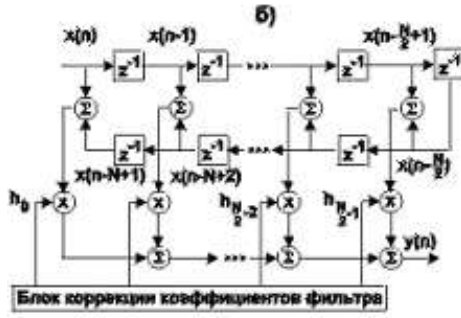
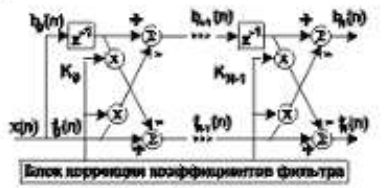
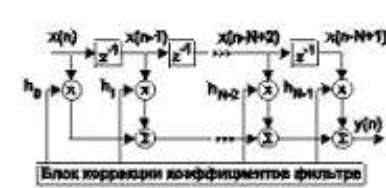
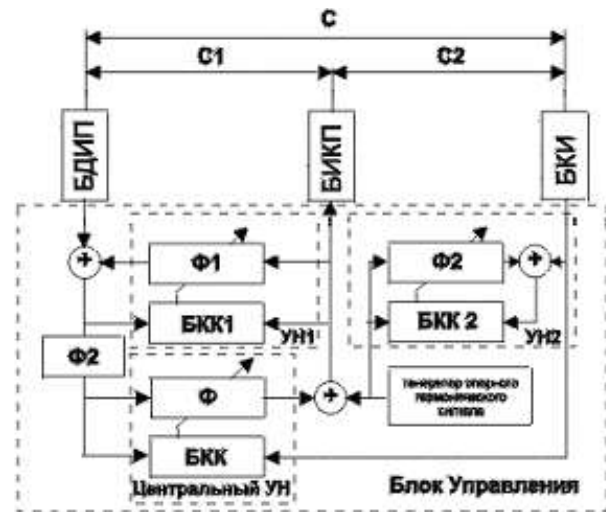
Определить требования к снижению шума

Выбрать вариант реализации системы гашения влияния акустического поля

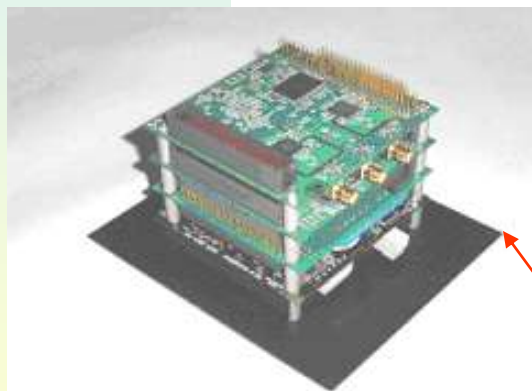
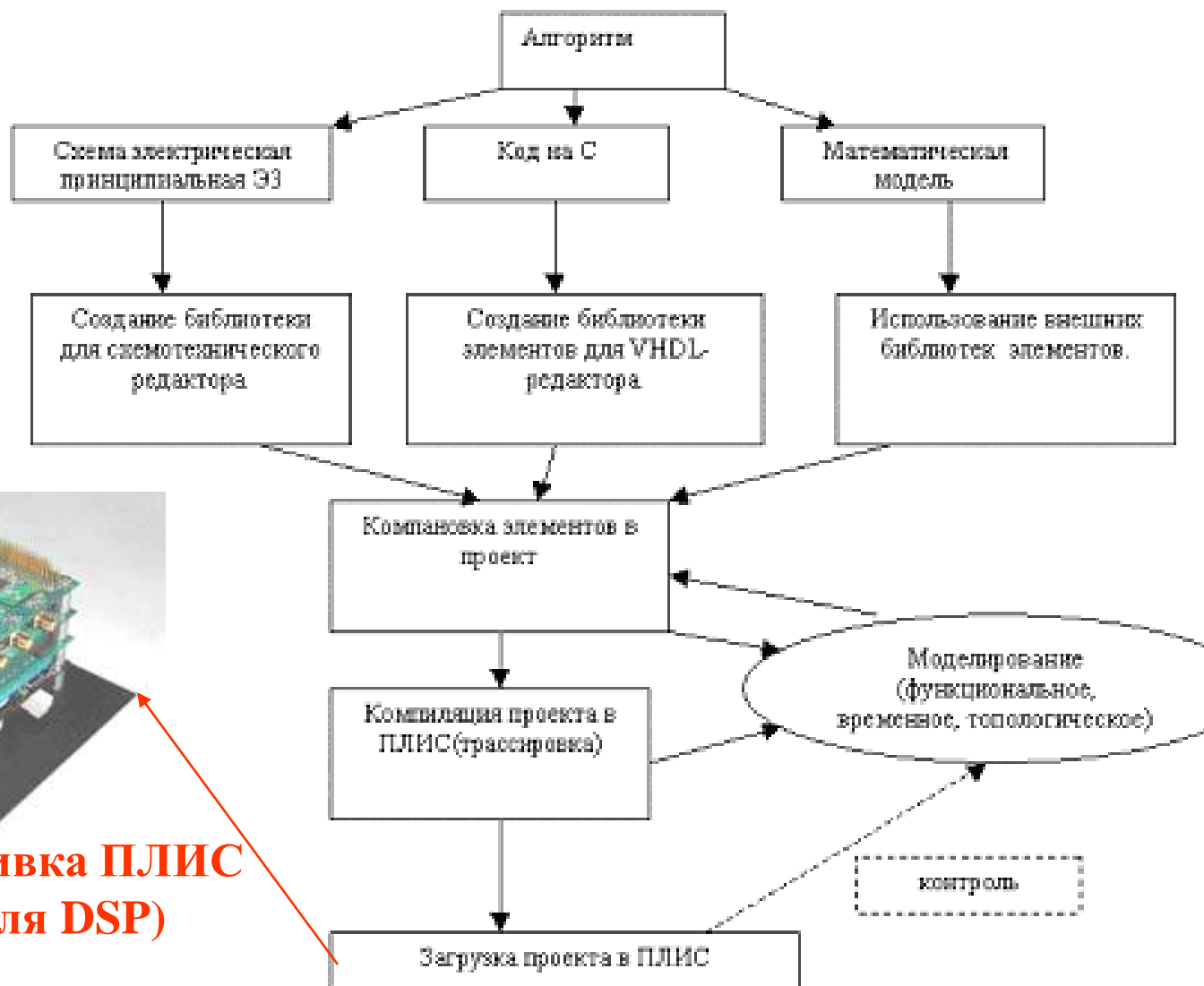
Генерационный синтез варианта реализации системы гашения на основе матрицы идей



- Возможные варианты:
- 1. А.1 АСАГ; → 1
 - 1. А.2 а) Многоканальный АСАГ; → 1.1
 - б) Нейро АСАГ; → 1.2
 - 2. Б.1 а) Пассивная СГ; → 3
 - б) Нейро АСАГ; → 1.2
 - 3. В.1 а) Пассивная СГ; → 3
 - б) Нейро АСАГ; → 1.2
 - 4. С.1 Коэффициент СГ; → 4
 - 2. А.1 АСАГ; → 0-2
 - 2. А.2 а) Многоканальный АСАГ; → 0-2
 - б) Нейро АСАГ; → 2.1
 - 2. Б.1 а) Пассивная СГ; → 3
 - б) Нейро АСАГ; → 2.1
 - 2. В.1 а) Пассивная СГ; → 3
 - б) Нейро АСАГ; → 2.1
 - 2. С.1 Коэффициент СГ; → 4
 - 3. А.1 АСАГ; → 1
 - 3. А.2 а) Многоканальный АСАГ; → 1.1
 - б) Нейро АСАГ; → 1.2
 - 3. Б.1 а) Пассивная СГ; → 3
 - б) АСАГ; → 1
 - 3. В.1 а) Пассивная СГ; → 3
 - б) АСАГ; → 1
 - 3. С.1 а) Пассивная СГ; → 3
 - б) АСАГ; → 1

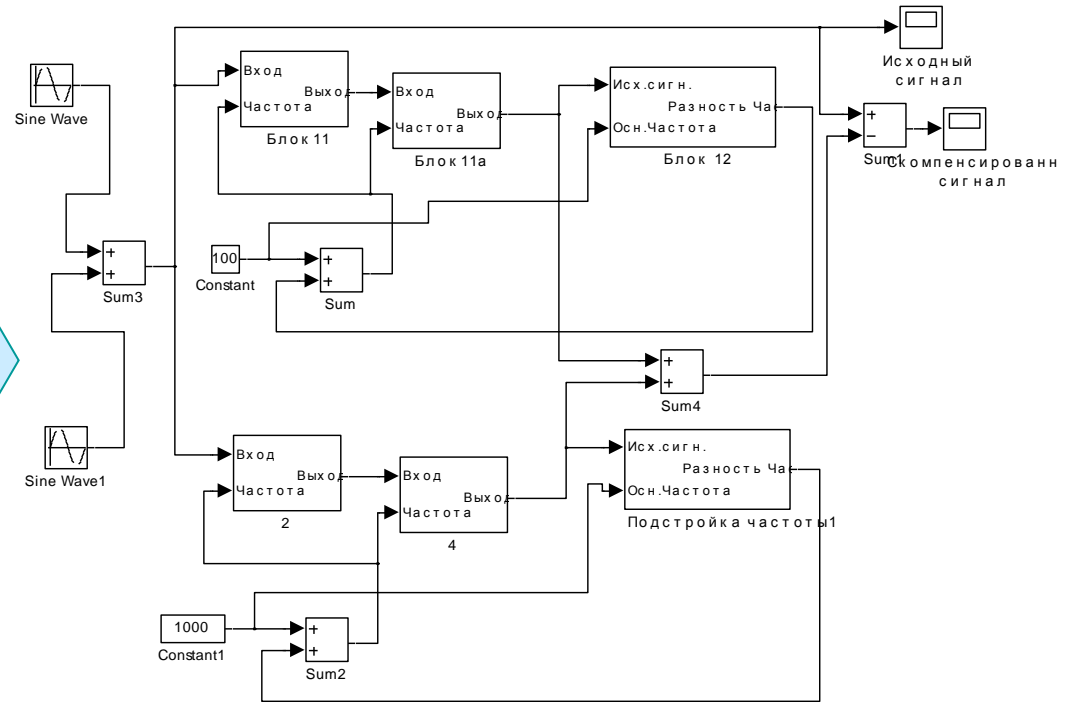
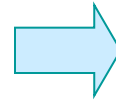
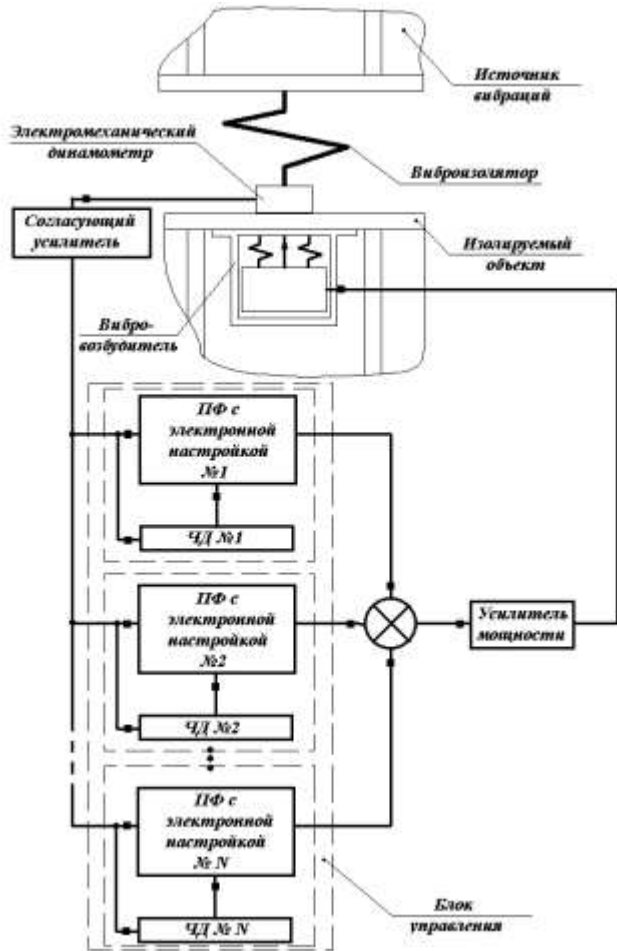


Методология генерационного синтеза САВ на основе IP CORE



**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

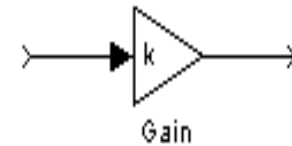
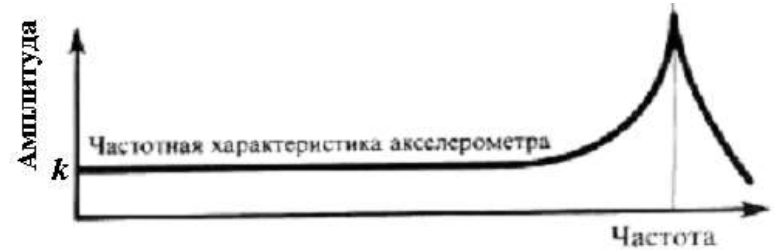
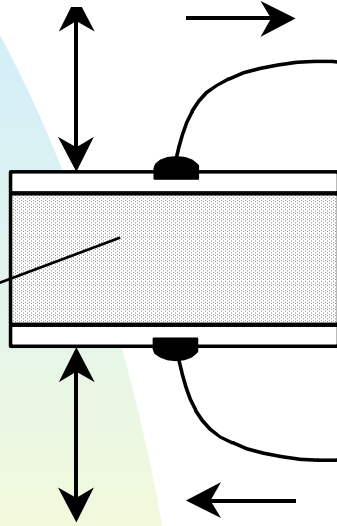
Растягивающее\сжимающее
усилие

Срезающее усилие



Электрический
сигнал

Пьезоэлектрический
материал



**Пьезоэлектрический
акселерометр**

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

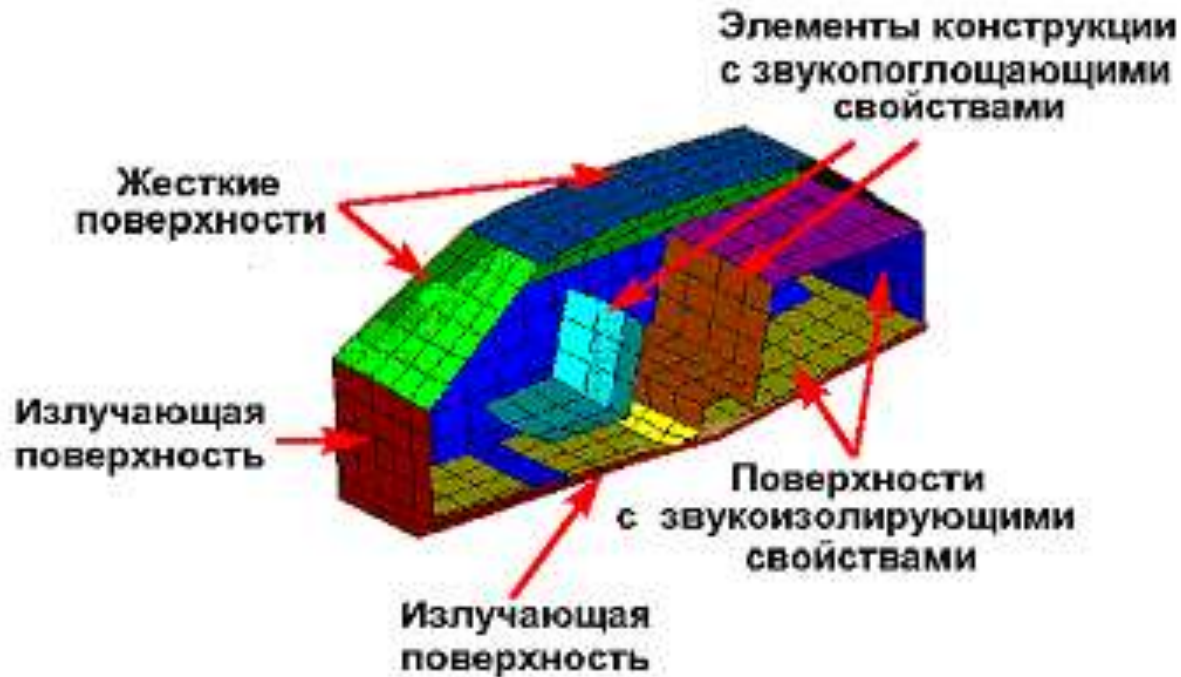
Примеры средств регистрации



Акселерометры, выпускаемые
НПО «Измерительной техники»

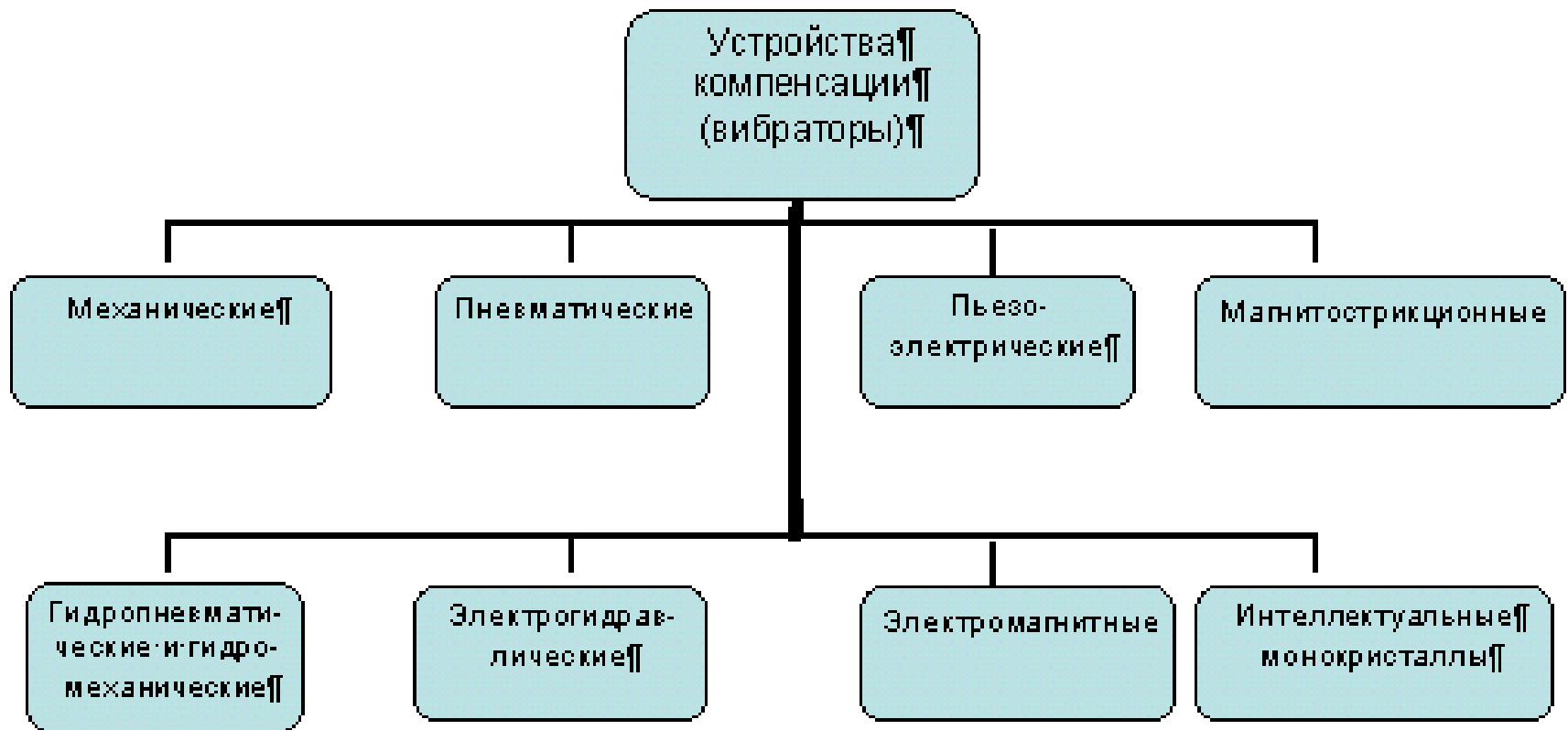


Синтез пространственного размещения датчиков

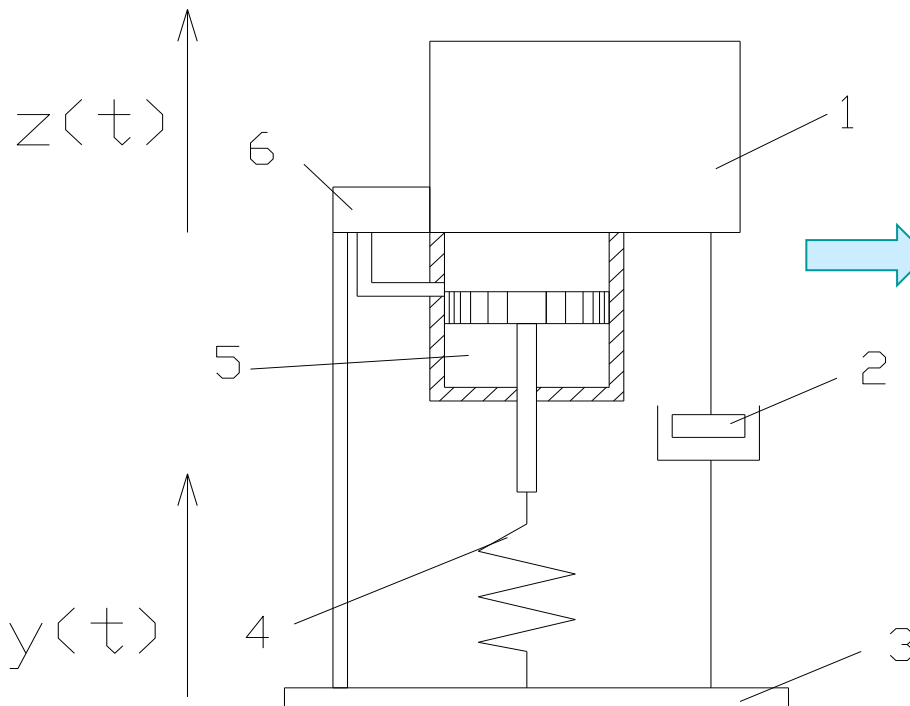


Для синтеза пространственного размещения датчиков используются как итерационно-оптимизационные процедуры, так и методы на основе сеточной аппроксимации объекта типа среда-конструкция.

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 Fun

Передаточное звено в системе MatLab в форме Лапласа

Примеры реализации компенсаторов



Наборы электродинамических компенсаторов, созданных в ИМАШ РАН

Примеры реализации компенсаторов

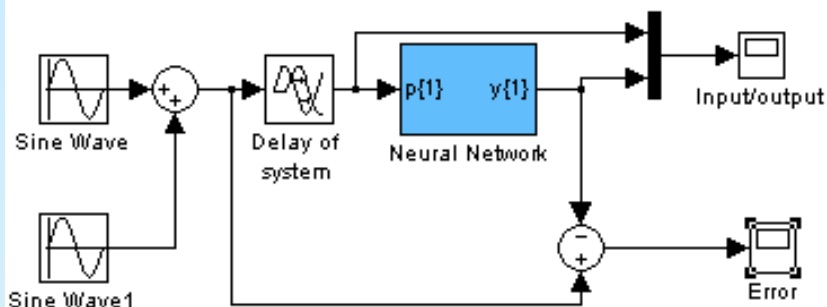


Фотография силовых элементов на базе "интеллектуальных"
монокристаллических материалов
[ЦНИИ Робототехники - <http://rtc.spbnews.ru/>].

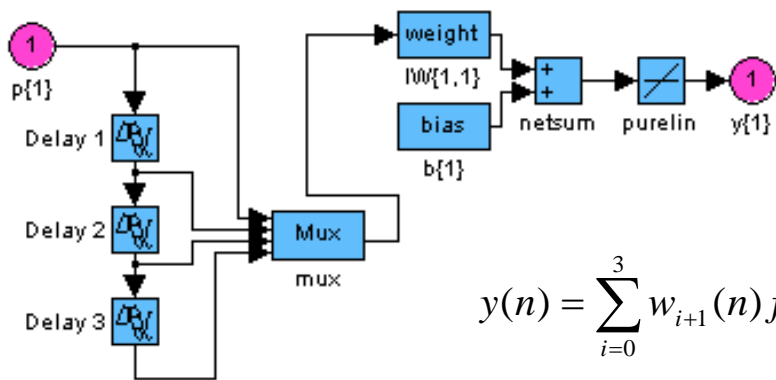
Классификация нейронных САВ



Математическая модель нейроадаптивной САВ с линейной нейронной сетью



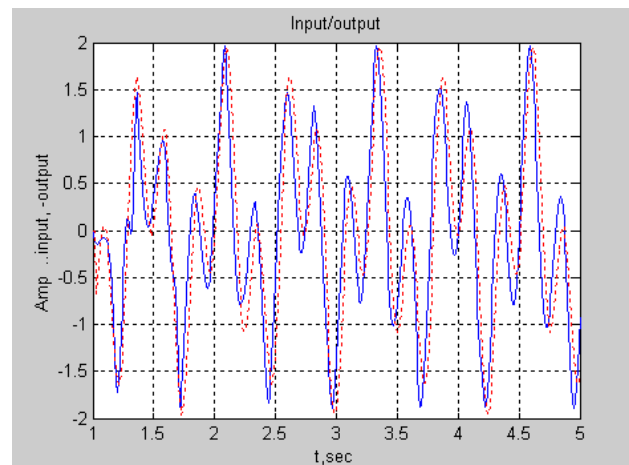
Математическая модель с
возможностью прогноза на 3 такта
рабочего времени



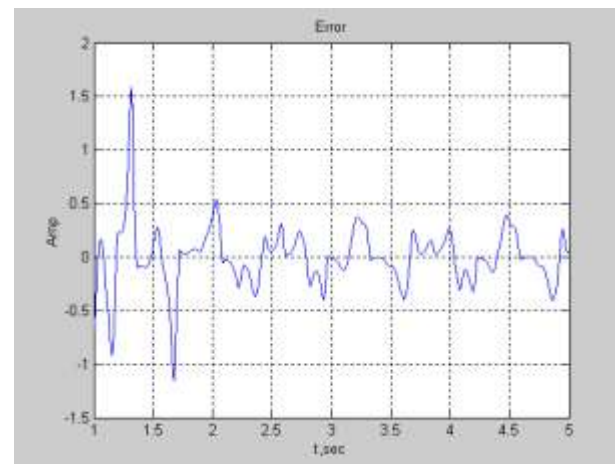
$$y(n) = \sum_{i=0}^3 w_{i+1}(n) f(n-i)$$

где

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

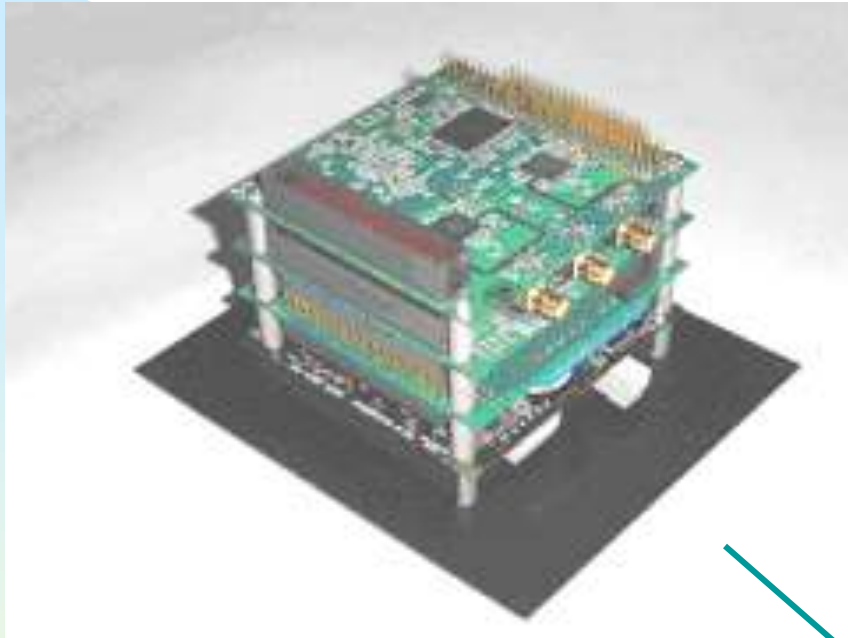


Пунктиром обозначен входной сигнал,
сплошной - компенсирующий



Результат компенсации

Пример реализации блока управления САВ в стандарте РС-104+



Вычислитель на базе
ПЛИС фирмы XILINX

Пример реализации блока управления САВ в стандарте РС-104

Блок питания TRIM V104.

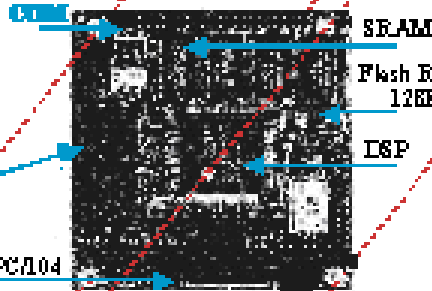
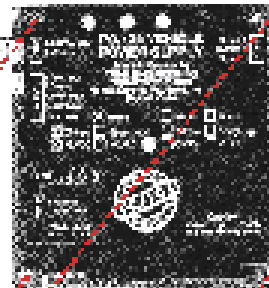
- Входное напряжение +0 - +30 В.
- Наибольшее напряжение подается на шину РС/104.
- Диапазон выходного напряжения:
+5В, 5А,
+12В, 1А.
- КПД около 80%.

Процессорный модуль.

- ЦСП TMS320C32-60
- такт 33 мс
- SRAM (20 нс) до 2 Мб.

Шина ЦСП 6-кан.

Шина РС/104



Модуль ввода/вывода

- 16 дифференциальных аналоговых входных каналов.
- АЦП - 13 разрядов.
- ЦАП - 12 разрядов.
- Четыре канала ЦАП.
- Диапазон напряжений:
входных:
0...+2.5 В, 0...+5 В.
выходных:
0...+5 В, 0...+10 В,
+/- 5 В, +/- 10 В.

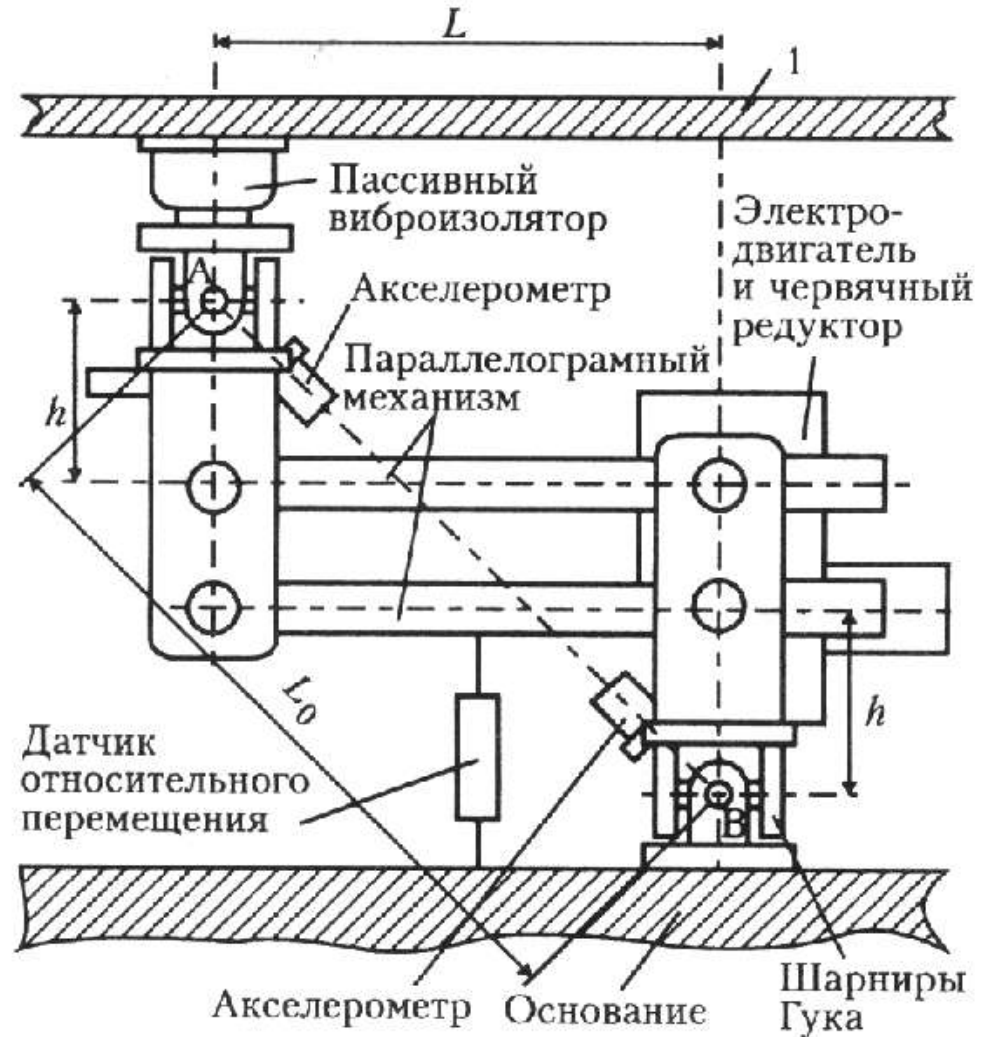
Электроакустические преобразователи:

- конденсаторные микрофоны MV101 - фирмы VET.
- трубчатый ИЧ излучатель Т82А-80 - S AS.

Вычислитель на базе DSP TI



Экспериментальные исследования САВ



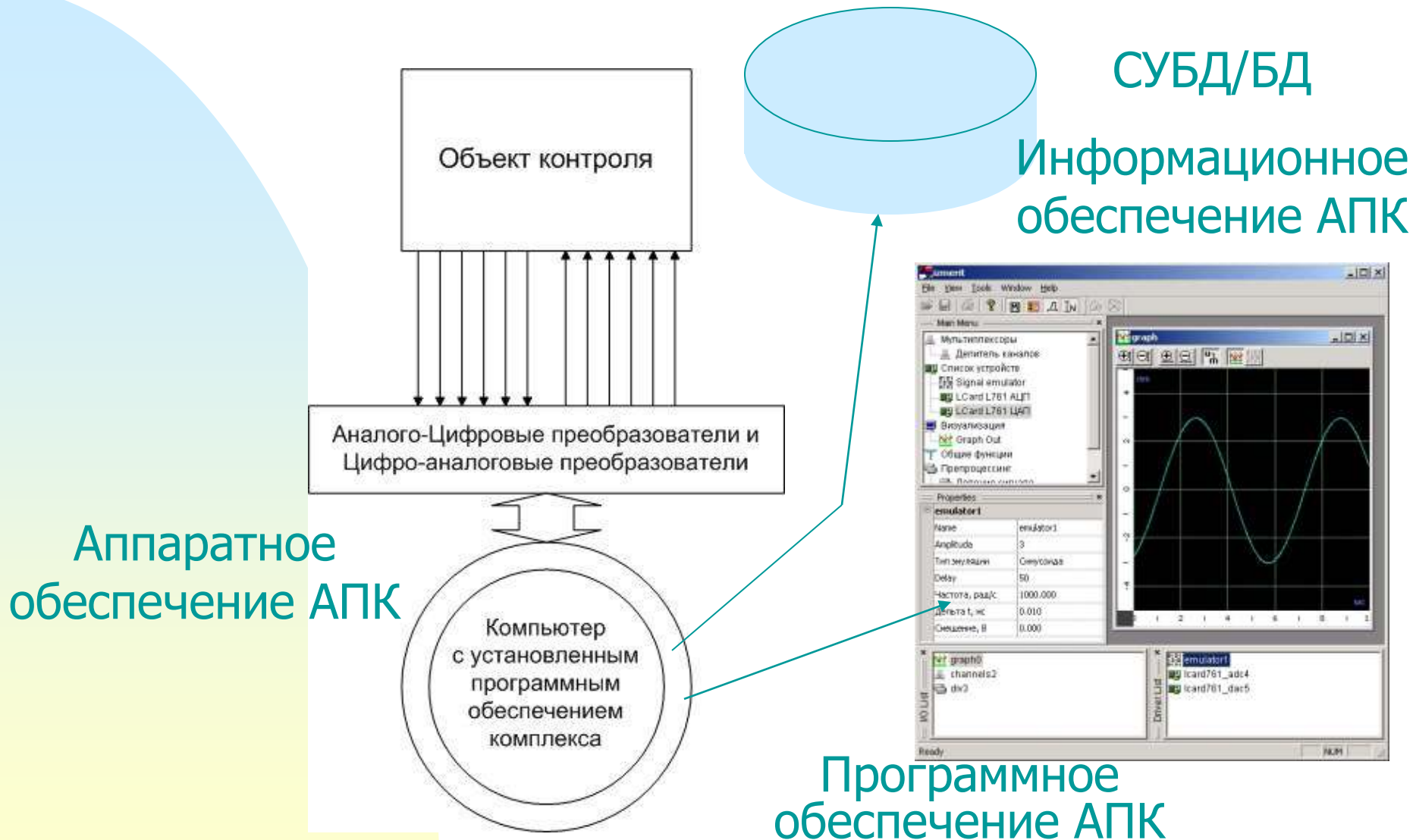
Фотография и функциональная схема экспериментальной установки, созданной в ИМАШ

Экспериментальные исследования САВ



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

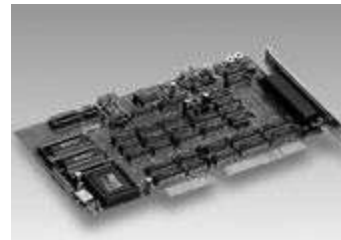
Измерительная подсистема



Измерительная подсистема: Аппаратное обеспечение

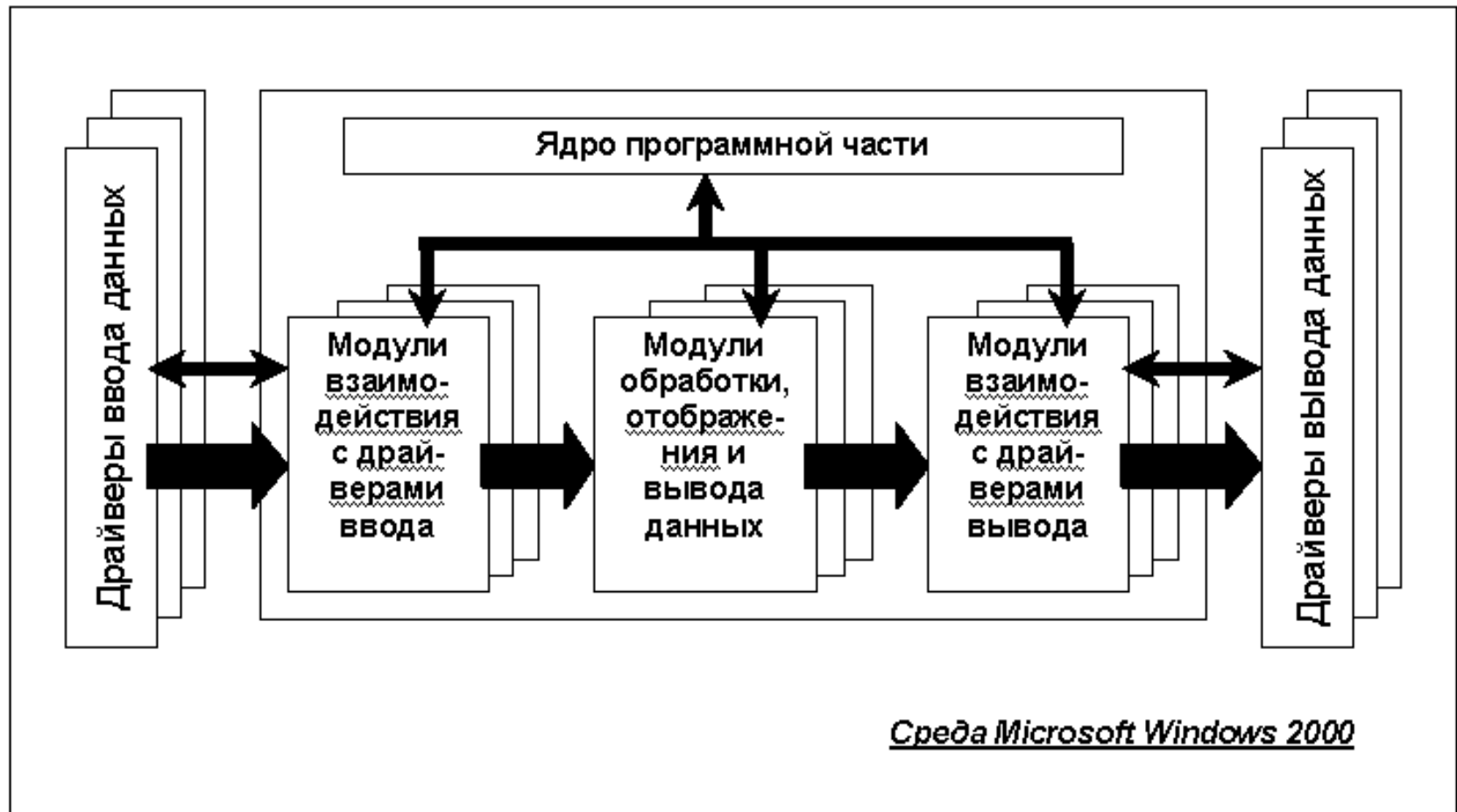
Таблица 1. Сравнительные характеристики АЦП/ЦАП плат расширения

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

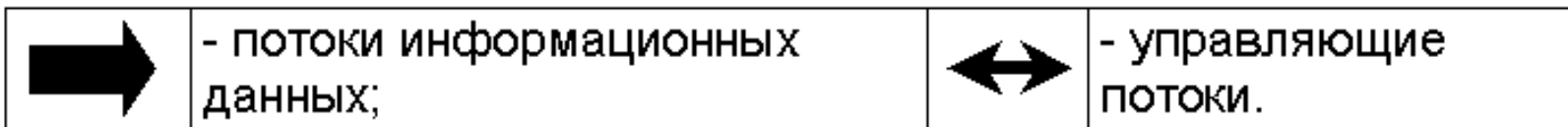


Измерительная подсистема

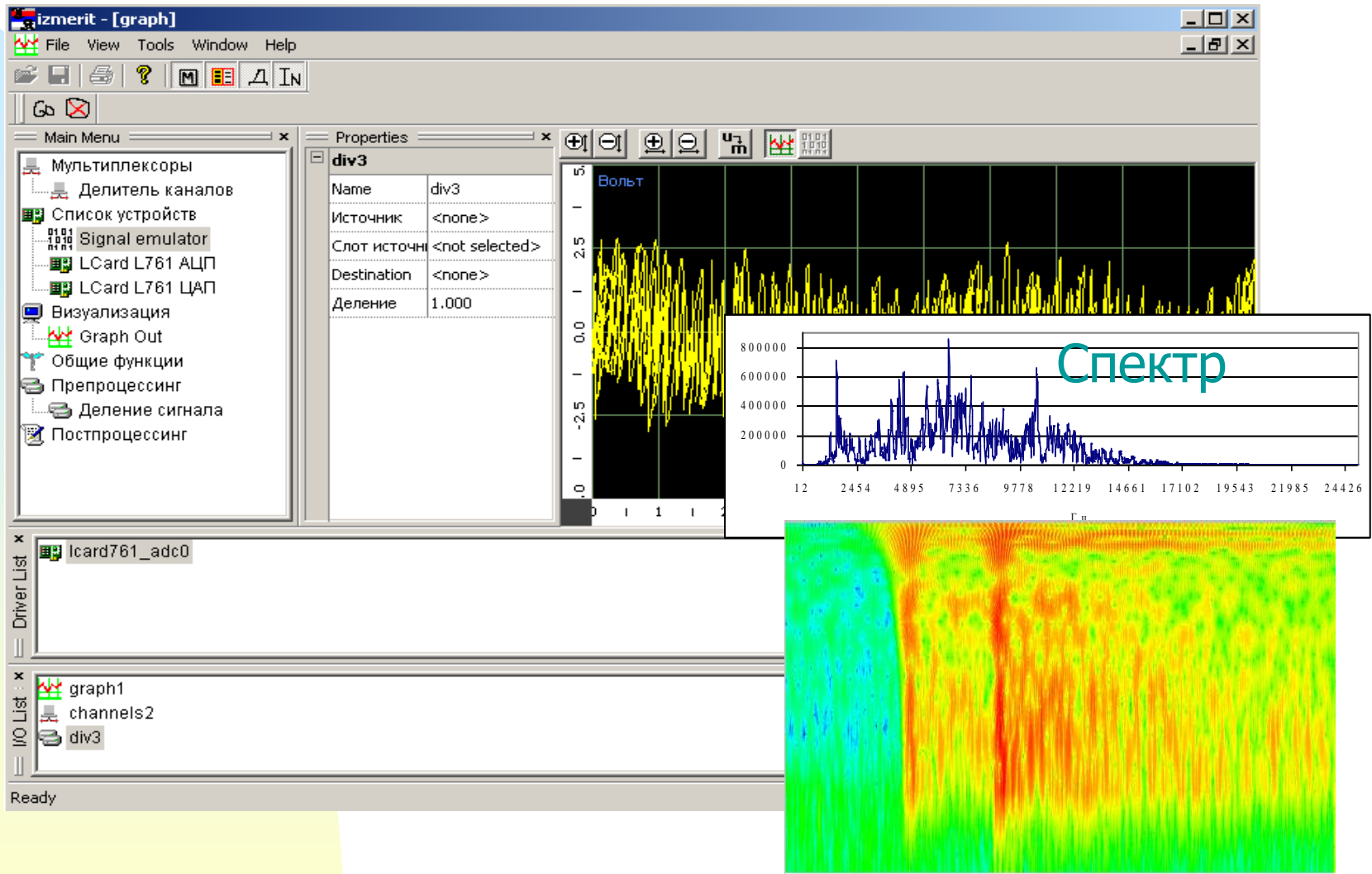
Прикладное программное обеспечение



Среда Microsoft Windows 2000



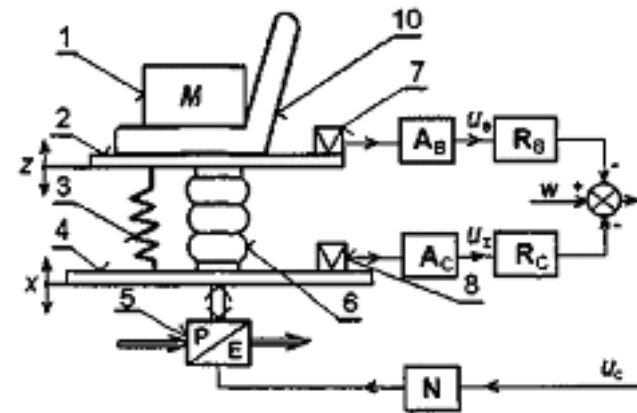
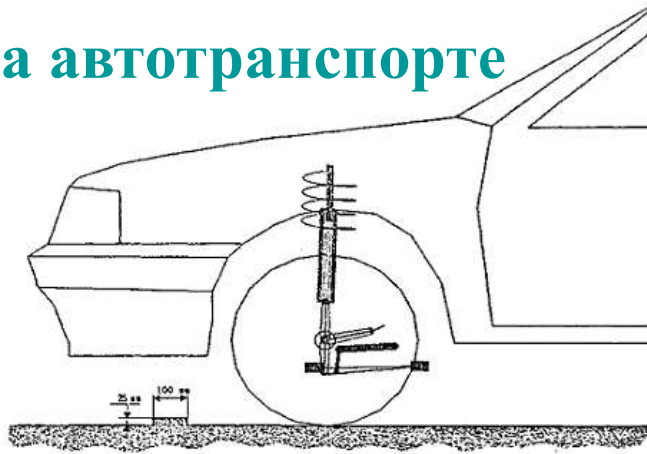
Измерительная подсистема: Программное обеспечение ЦОС



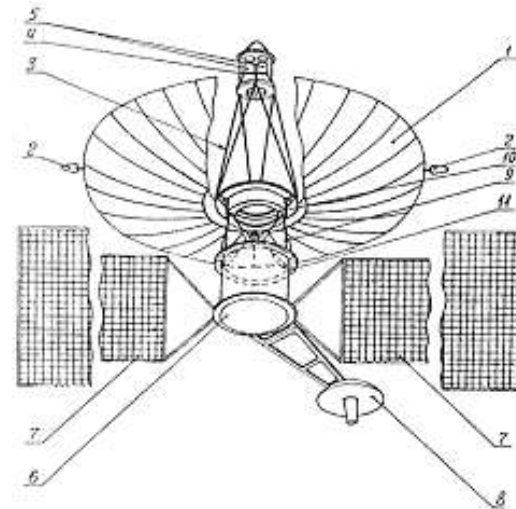
Вейвлет образ

Варианты применения САВ

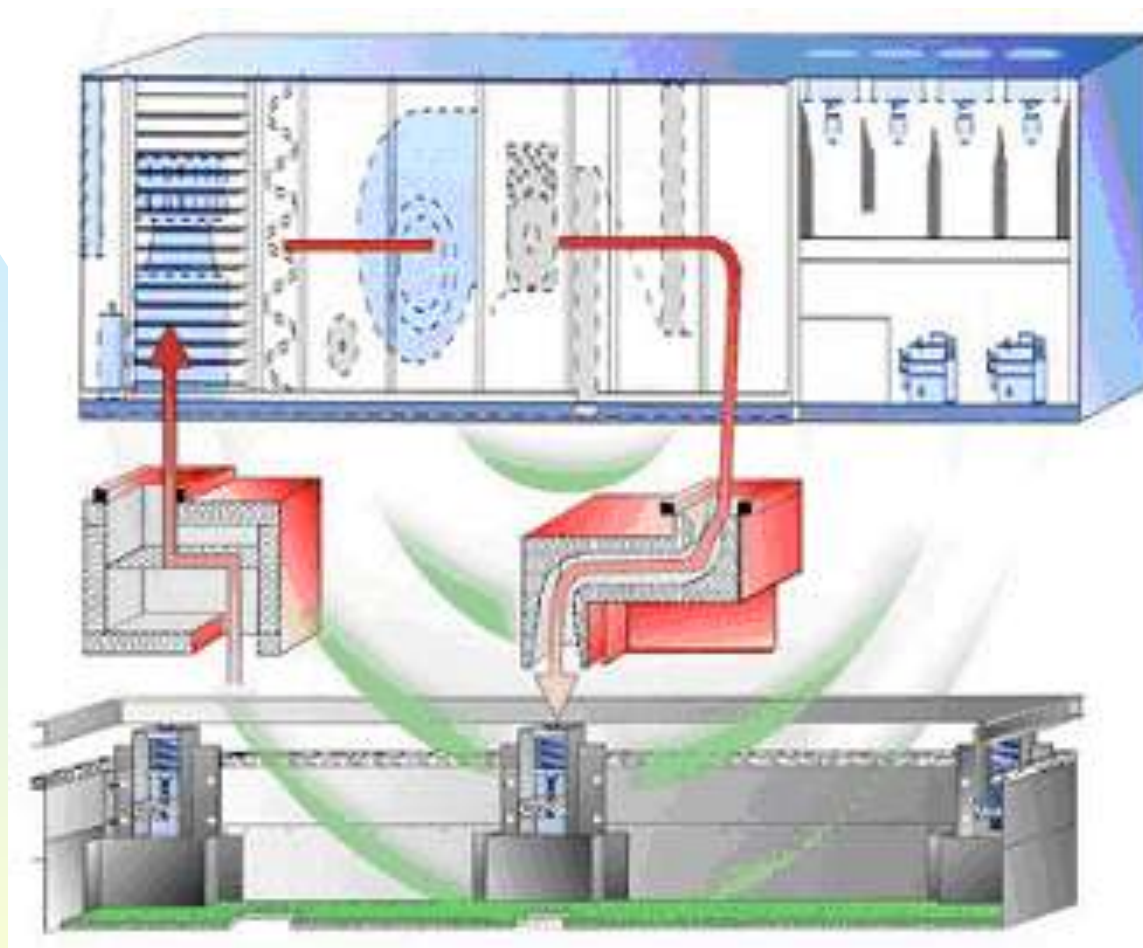
САВ на автотранспорте



САВ конструкций космических систем



Варианты применения САВ



Виброзащитные системы от промышленных и бытовых вибраций

Варианты применения САВ

Виброзащитные системы в авиации



Варианты применения САВ

Виброзащитные системы нанотехнологических измерительных комплексов

