



Учреждение Российской академии наук
Институт проблем машиноведения РАН (ИПМаш РАН)

Лаборатория Интеллектуальных Электромеханических Систем (ИЭМС)

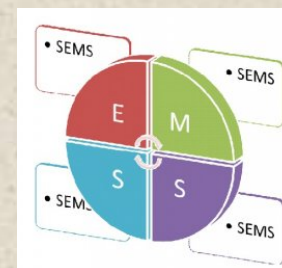
Заведующий лабораторией

Городецкий Андрей Емельянович,

доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник

заслуженный деятель науки и техники,

g27764@yandex.ru

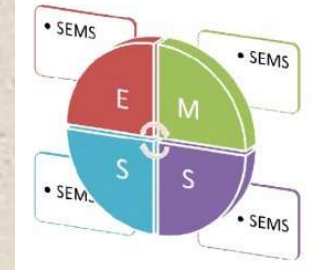


Состав лаборатории

1. Кулик Борис Александрович – вед.н.с.(д.ф.-м.н.)
2. Курбанов Вугар Гариб-оглы - ст. н.с. (к.ф.-м.н.)
3. Тарасова Ирина Леонидовна – ст.н.с. (к.т.н.)
4. Кучмин Андрей Юрьевич – вед.н.с. (к.т.н.)
5. Козлов В.В. – ст.н.с.

ЧАСТЬ 3

Содержание



1. Научные направления исследований

- 1.1. Исследование и разработка технологии создания интеллектуальных электромеханических систем
 - 1.1.1. Модули SEMS
 - 1.1.2. Системы управления модулей SEMS
 - 1.1.3. Центральная нервная система SEMS
 - 1.1.4. Управление группой SEMS
 - 1.1.5. Оценки группового интеллекта SEMS
 - 1.1.6. Безопасное управление группой SEMS
- 1.2. Идентификация систем управления (СУ) динамических объектов (ДО) на основе множественно-функционального подхода
- 1.3. Управление зеркальной системой радиотелескопа на базе модулей SEMS
- 1.4 . Гексапод контррефлектора
- 1.5. Формирование отражающих зеркальных поверхностей антенны космического радиотелескопа
- 1.6. Модифицированный релейный метод управления
- 1.7. Алгебраические методы логического анализа данных и знаний

2. Компьютерное моделирование

- 2.1. Процесс возбуждения и синхронизации колебаний ресничек мерцательных клеток
- 2.2. Формирование фракталоподобных структур
- 2.3. Проблемы и методы восстановления изображений с дефектами

3. Практическое применение

- 3.1. Использование матричных приемников
- 3.2. Применение SEMS

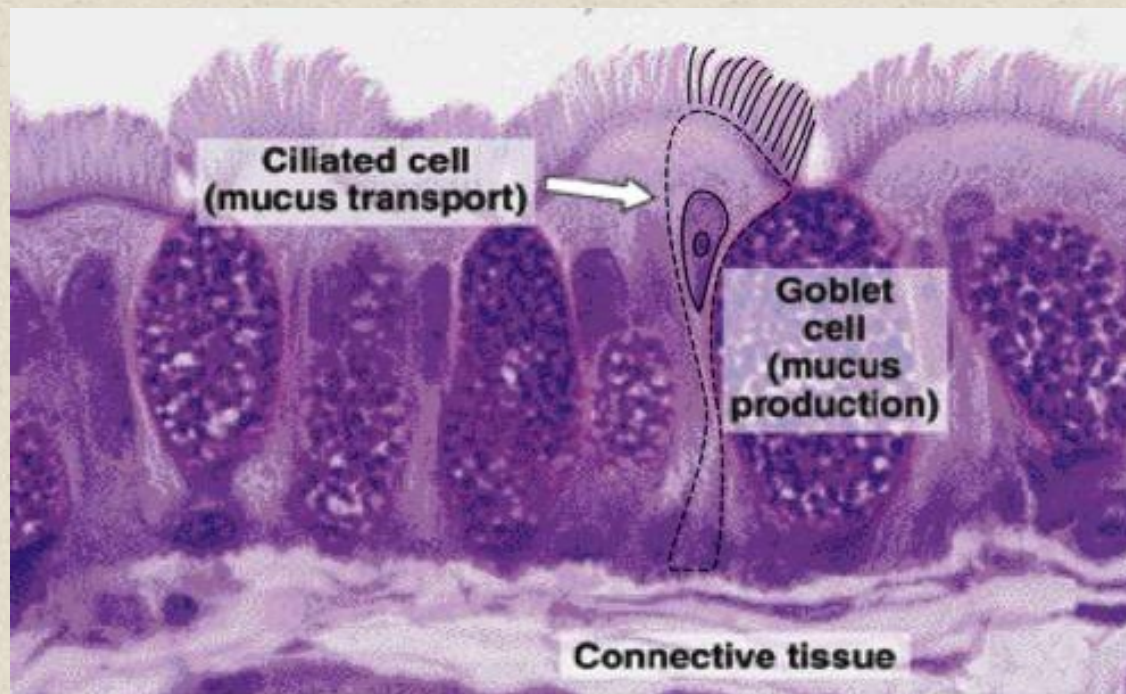
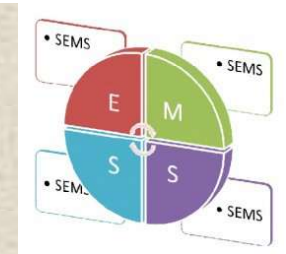
4. Экспериментальные исследования

2. Компьютерное моделирование

2.1. Процесс возбуждения и синхронизации колебаний ресничек мерцательных клеток

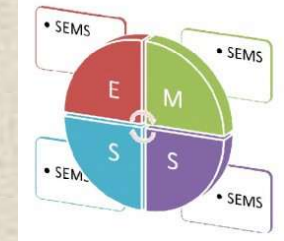
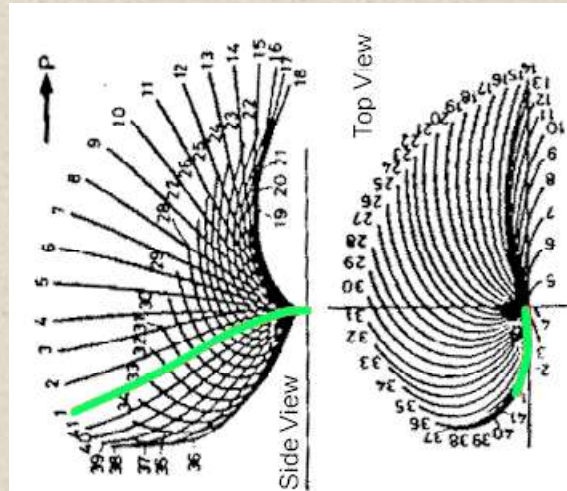
Объект исследования: Эпителий дыхательных путей

Типы клеток: мерцательные клетки, бокаловидные клетки, базальные клетки.



Движение реснички

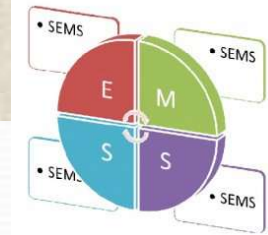
Фазы движения реснички: эффективная и возвратная



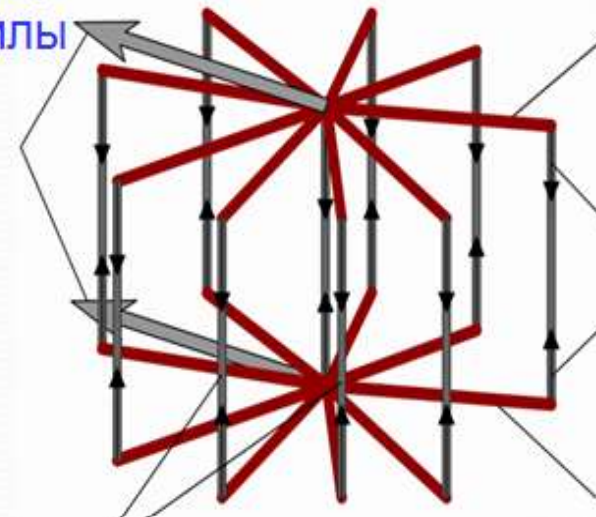
Гипотеза синхронизации биения ресничек

- Собственные колебания ресничек, по-видимому, могут быть объяснены управляемым изменением потока ионов кальция через соответствующие мембранные каналы.
- Синхронизация группы ресничек могут быть объяснены распространением ионов кальция в виде волны в перецилиарной жидкости.
- Ресничка может быть представлена как эквивалент ждущего мультивибратора или параметрического осциллятора, синхронизируемого с помощью химического маркера.
- По-видимому, имеется область клеток эпителия, которые задают частоту и направление биения

Модель реснички как механической системы



Гидродинамические
силы



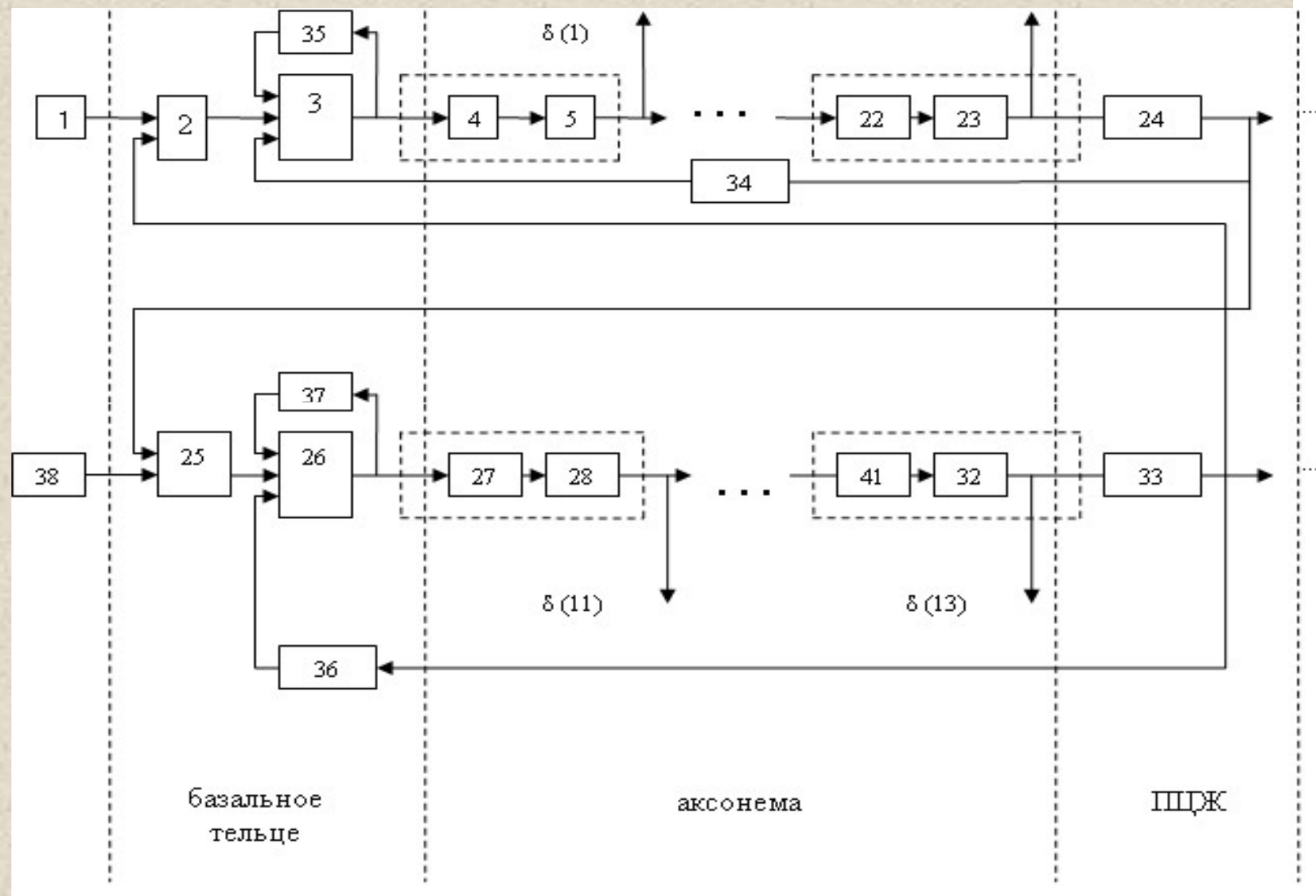
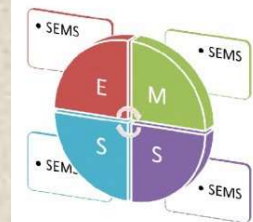
Силы упругого
взаимодействия
и управления

Упругие элементы

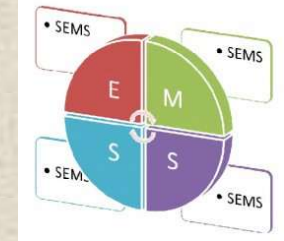
Твердые тела

Исходя из проведенного анализа структуры реснички, при моделировании ее колебаний для математического описания ее механики можно использовать эквивалентную расчетную схему в виде системы 10 твердых тел, соединенных упругими связями. В качестве твердых тел выбраны узлы центральных белковых нитей с прикрепленными к ним спицами. Упругие элементы представляют собой безмассовые пружины с нелинейными коэффициентами жесткости и демпфирования. Силовые взаимодействия моторных белков (динеина) с белком микротрубочек реснички (тубулином) моделируются эквивалентными силами, приложенными к местам крепления спиц к микротрубочкам.

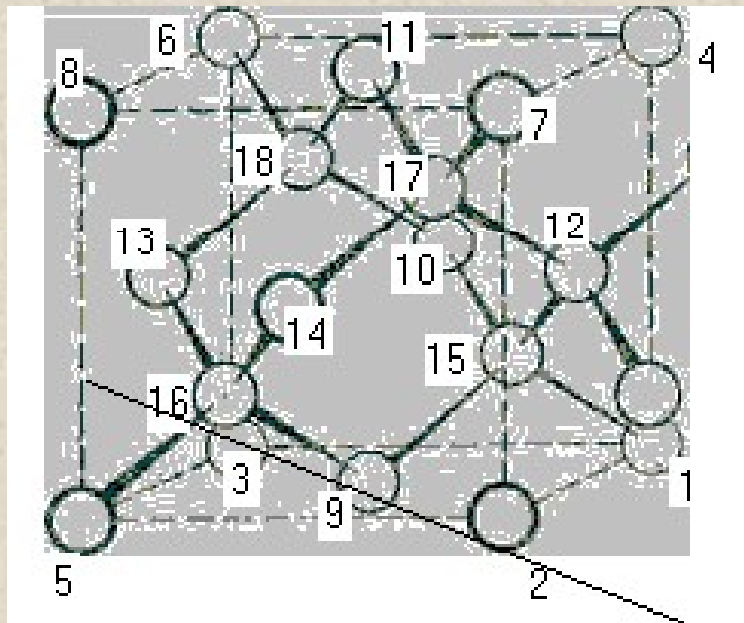
Структура Конечного Автомата, моделирующего поток ионов кальция



2.1. Формирование фракталоподобных структур

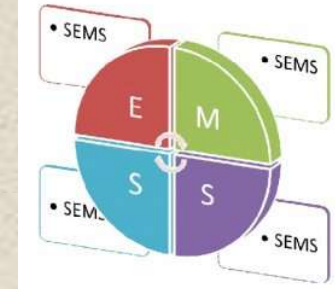


Объект исследования : процесс образования пористого кремния.



Для создания компактной модели исходной структуры кремния предлагается использовать совокупность элементарных ячеек, каждая из которых содержит 18 атомов. Причем не все атомы входят в одну ячейку целиком. Некоторые атомы расположены на границе нескольких ячеек и имеют связи с атомами в соседних ячейках. Совокупность таких ячеек образует кристаллическую решетку кремния, являющуюся гранецентрированной кубической с четырьмя связями у каждого атома.

Модель вытравливания атомов в процессе формирования пористого кремния



Для определения вероятности вытравливания каждого из атомов использовался логико-вероятностный подход. В общем случае вероятность вытравливания отдельного атома можно представить в виде произведения трех экспонент.

$$P_i = A * \ell^{-\frac{n_i E_{a0}}{kT}} * \ell^{-\sigma V (1/R_1 + 1/R_2)} * \ell^{-(E_g(R) + \delta - U_e) / 4kT}$$

где: n - число связей i -го атома,

kT - температура в энергетических единицах (около 0,04 эВ),

E_{a0} - энергия, идущая на одну связь между атомами кремния (4 эВ).

V - объем одного атома в кристалле (около $2 * 10^{-23}$ см³),

R_1, R_2 - радиусы кривизны,

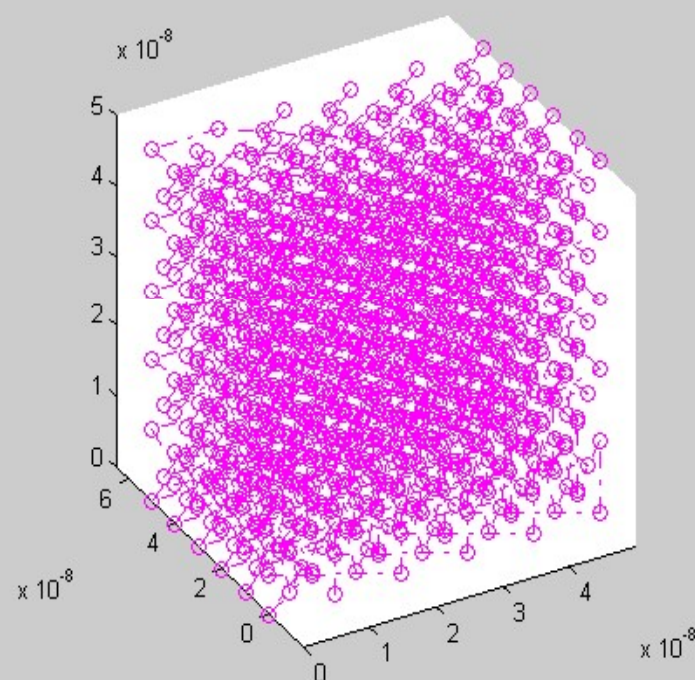
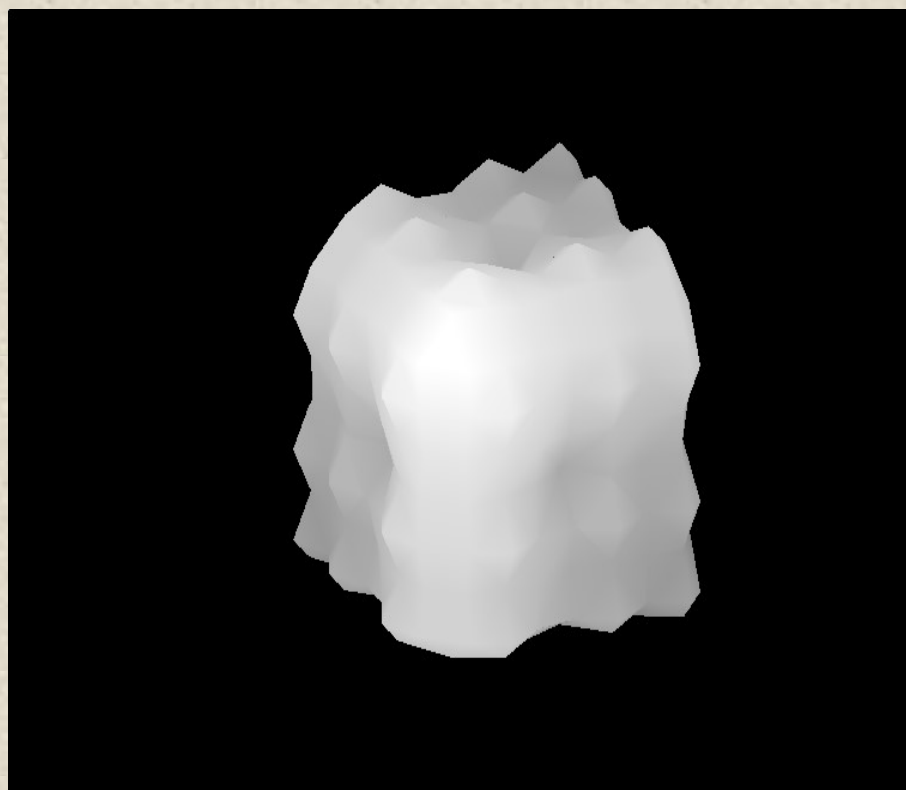
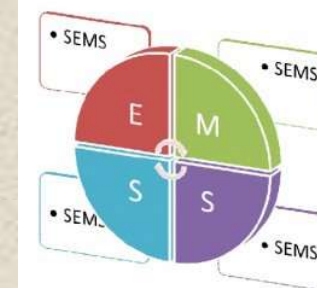
σ - поверхностное натяжение,

E_g - потенциальная энергия, которым должна обладать электронная дырка,

U_e - величина приложенного к образцу анодного (положительного) смещения,

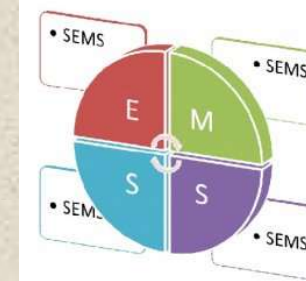
R - радиус квантовых проволок.

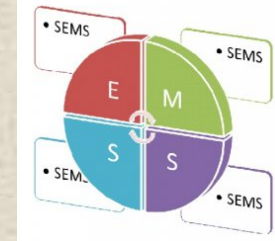
Результаты моделирования вытравливания атомов в процессе формирования пористого кремния



2.3. Проблемы и методы восстановления изображений с дефектами

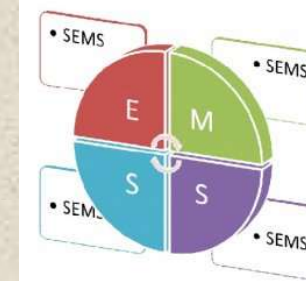
Объект исследования: фрагменты орнамента



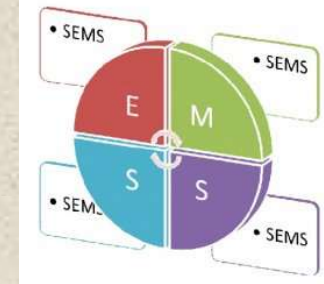


**Разбиение на мотивы:
приближение к опорным точкам, H-разбиение,
изолирование мотивов, регенерация мотивов,
удаление копий**

Результат восстановления орнамента



3. Использование матричных приемников



Создание матричных приемников радиоизлучение в значительной мере решает проблему поиска объектов узкой диаграммой направленности больших радиотелескопов, так как поле зрения у матричного приемника может быть значительно больше, чем у точечного (рис.1). Очевидно, что в этом случае главной проблемой будет поиск объекта на матричном приемнике, путем цифровой фильтрации радиоизображения и ряда пространственно-временных преобразований сигналов с выхода матричного приемника.

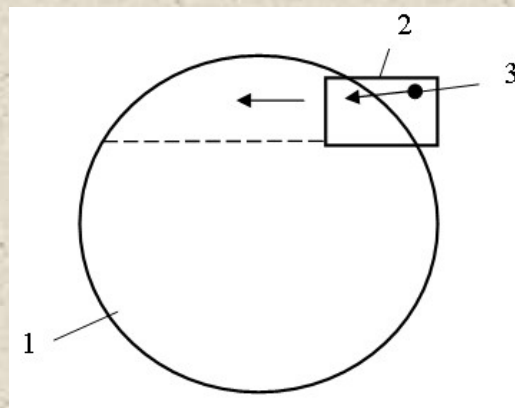
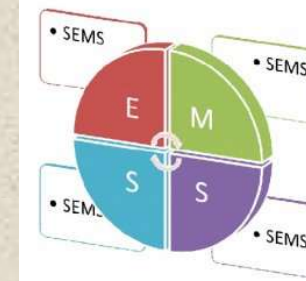


Рис.1. Поиск объектов с использованием матричного приемника

1 - поле облучения, 2 - поле зрения матричного преемника,

3 – точечный приемник

Оценка оптимальных размеров пикселей матричных приемников



В качестве максимального размера пикселя матричного приемника целесообразно брать следующий:

$$l_{\max} = \sqrt{2I} \quad (1)$$

$$I = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} i^2(t) dt \quad (2),$$

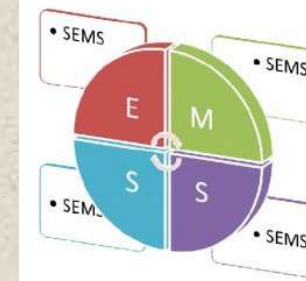
где $i(t)$ – колебание фокуса антенны в процессе ее функционирования,
 T – период колебания фокуса антенны в процессе ее функционирования.

Как правило можно считать, что для двух зеркальной антенны

$$T = \frac{4\pi^2}{\omega_1 \omega_2} \quad (3),$$

где, ω_1 и ω_2 – частоты первых тонов колебаний главного зеркала и контррефлектора соответственно.

Оценка оптимальных размеров пикселей матричных приемников



Колебание фокуса двух зеркальной антенны можно в первом приближении выразить через колебания краев главного зеркала и контррефлектора следующим образом:

$$i(t) = k_z a_1 \sin \omega_1 t + k_r a_2 \sin(\omega_2 t + \varphi) \quad (4),$$

где: a_1 , a_2 – амплитуды колебаний краев главного зеркала и контррефлектора соответственно, φ фазовый сдвиг между колебаниями краев главного зеркала и контррефлектора, k_z – коэффициент зависимости колебаний фокуса от колебания края главного зеркала и k_r – коэффициент зависимости колебаний фокуса от колебания края контррефлектора.

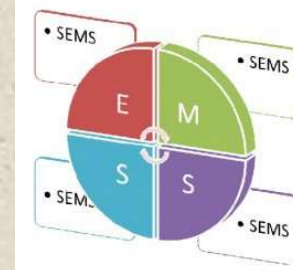
Коэффициенты k_z и k_r могут быть выражены через параметры антенны следующим образом (см. рис.2).

$$k_z = \frac{\sin \psi_1}{\sin \psi_3} \quad (5)$$

$$k_r = \frac{2 \sin \psi_2}{\sin \psi_3} \quad (6),$$

где: ψ_1 – угол падения излучения на край поверхности главного зеркала (ГЗ), ψ_2 – угол падения излучения на край поверхности контррефлектора (КР), ψ_3 – угол падения излучения края поверхности КР на фокальную плоскость.

Оценка оптимальных размеров пикселей матричных приемников



Углы вычисляются через параметры антенны следующим образом :

$$\psi_1 = \frac{1}{2} \arctg\left(\frac{D}{2(F_z - h)}\right) \quad (7),$$

где: F_z - фокусное расстояние главного зеркала, h - глубина главного зеркала, D - диаметр главного зеркала антенны.

$$\psi_3 = \arctg\left(\frac{2(DF + dF_z - dh)}{Dd}\right) \quad (8),$$

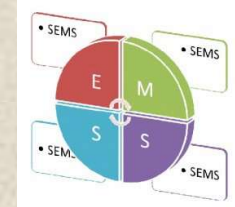
где: d - диаметр контррефлектора, F - межфокусное расстояние.

$$\psi_2 = \psi_1 - \frac{1}{2} \arctg\left(\frac{dD}{2(DF + dF_z - dh)}\right) \quad (9),$$

Тогда с учетом выражений (1), (2) и (4) максимальный размер пикселя матричного приемника можно определить из следующего выражения:

$$l_{\max} = \sqrt{\frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} (k_z^2 a_1^2 \sin^2 \omega_1 t + 2k_z a_1 k_r a_2 \sin \omega_1 t \sin(\omega_2 t + \varphi) + k_r^2 a_2^2 \sin^2(\omega_2 t + \varphi)) dt} \quad (10)$$

Оценка оптимальных размеров пикселей матричных приемников



В качестве примера, для оценки максимального размера пикселя матричного приемника берем следующие значения параметров антенны РТ 70: $F = 24,2$ м, $F_z = 21$ м, $D = 70$ м, $d = 3$ м, $h = 14,58$ м.

Положим, что $a_1 = 2$ мм, $a_2 = 2$ мм (a_1, a_2 – амплитуды колебаний краев главного зеркала и контррефлектора соответственно). Из амплитудно-частотной характеристики РТ-70 можно определить, что $\omega_1 = 8,5$ с⁻¹, $\omega_2 = 23,7$ с⁻¹ (ω_1 и ω_2 – частоты первых тонов колебаний главного зеркала и контррефлектора соответственно).

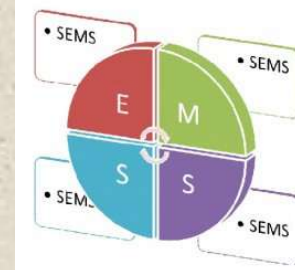
Из формулы (7), (8), (9) соответственно получаем: $\psi_1 = 39,8^\circ$, $\psi_2 = 38,04^\circ$, $\psi_3 = 38,04^\circ$. Далее из формулы (4), (5), (6) получаем $T = 0,195$, $k_z = 0,646$, $k_r = 1,232$.

Тогда, подставляя вычисленные значения в выражение (11) получим: $I_1 = 7,736$ и $I_2 = 0,004$.

$$\sqrt{2\left(\frac{k_z^2 a_1^2 + k_r^2 a_2^2}{2} - \frac{4k_z k_r a_1 a_2 \cos \varphi ((\omega_2 + \omega_1) \sin(\frac{T(\omega_1 - \omega_2)}{2}) + (\omega_2 - \omega_1) \sin(\frac{T(\omega_1 + \omega_2)}{2}))}{T(\omega_2^2 - \omega_1^2)}\right)} \quad (11)$$

Следовательно, значением I_2 можно пренебречь. Поэтому для оценки максимального размера пикселя матричного приемника можно использовать формулу (12). В рассматриваемом примере будет 2,781 мм.

$$l_{\max} = \sqrt{k_z^2 a_1^2 + k_r^2 a_2^2} \quad (12)$$



Амплитудно-частотная характеристика РТ-70 в Евпатории

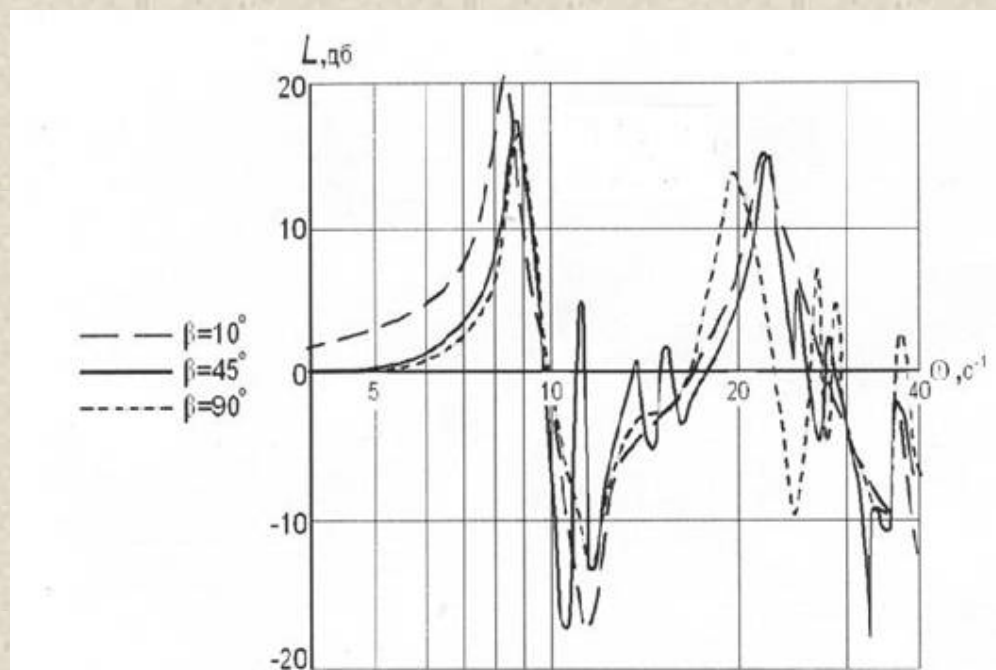
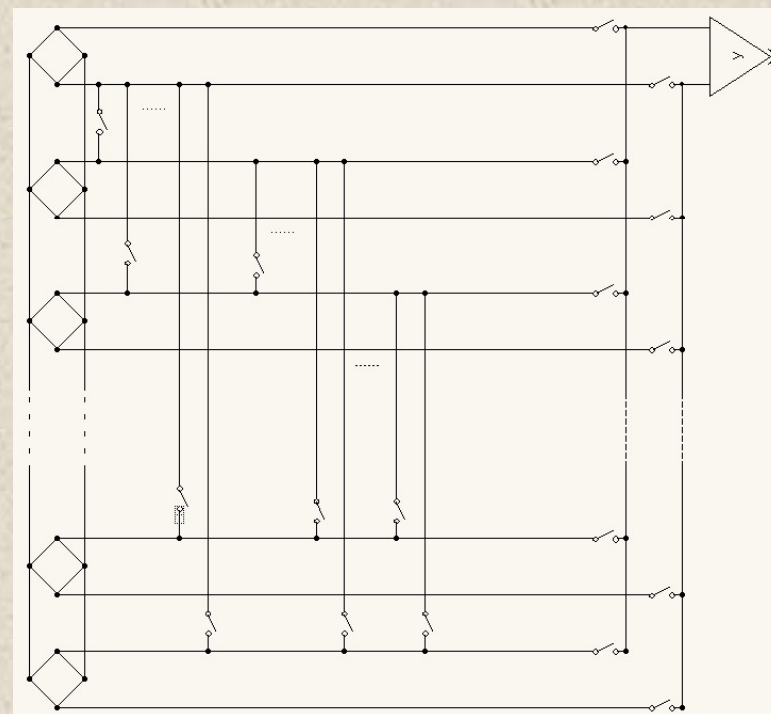
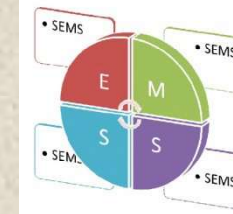


Схема адаптивного матричного приемника



Алгоритмы адаптации матричных приемников



1. Ввод исходных данных: $\lambda, H, v, f_1(\beta), f_2(\beta), k_1, k_2, k_z, k_r, n=1, l_0, N$,

где, H - ширина ДН в фокальной плоскости, v - скорость перемещения антенны, k_1 - коэффициент, выбираемый оператором в диапазоне от 0,1 до 1, f_1 и f_2 - заранее вычисленные или определенные экспериментально собственные частоты (первый тон) главного зеркала и контррефлектора соответственно, k_2 - коэффициент, выбираемый оператором в диапазоне от 50 до 200 при условии, что $\Delta t_1 \ll \Delta t$; λ - длина волны принимаемого излучения, l_0 - исходный размер пикселя, N - размер матрицы заданного приемника.

2. Вычисляют $\Delta t = k_1 H/v$; $\Delta t_1 = 1/k_2 f_1 f_2$.

3. Объединяют выходы пикселей матричного приемника таким образом, чтобы получилась квадратная матрица, состоящая из пикселей размером , (8)

4. Перемещают антенну по заданной траектории.

5. В процессе перемещения антенны по заданной траектории периодически с интервалом Δt :

5.1. записывают сигналы с пикселей в память

5.2. измеряют угол места β ,

5.3. по измеренным значениям β выбирают из таблиц $f_1(\beta)$ и $f_2(\beta)$ значения f_1, f_2 и вычисляют $T = 1/f_1 f_2$,

5.4. периодически (период $\Delta t_1 = T/k_2$) измеряют амплитуды колебаний $a_1(t_1)$ - края главного зеркала и a_2 - края контррефлектора,

5.5. вычисляют оптимальные размеры пикселя $l_0(t_i)$ матричного приемника по формуле (3)

6. После окончания перемещения по заданной траектории определяют максимальный размер пикселя $l_{\max}$ из всех вычисленных $l_0(t_i)$

7. Если $l_n \leq H$ (9) или $l_n \leq l_{\max}$ (10), то останов, иначе $n = n+1$ и переход к п.3.

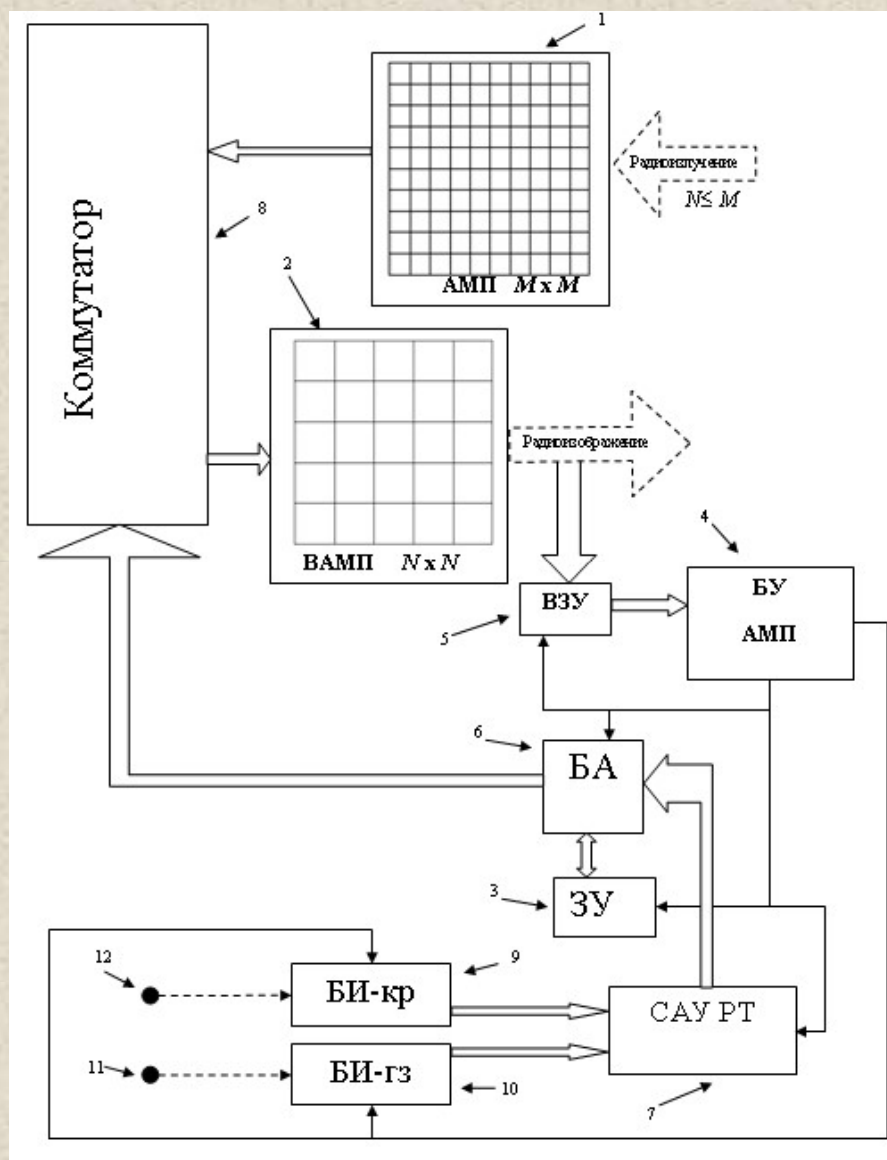
В случае, если производится локация объектов, излучение которых в миллиметровом диапазоне достаточно сильное и накопление сигнала не требуется, то в выше приведенном алгоритме в п.7 нужно исключить проверку неравенства (10).

• SEMS

• SEMS

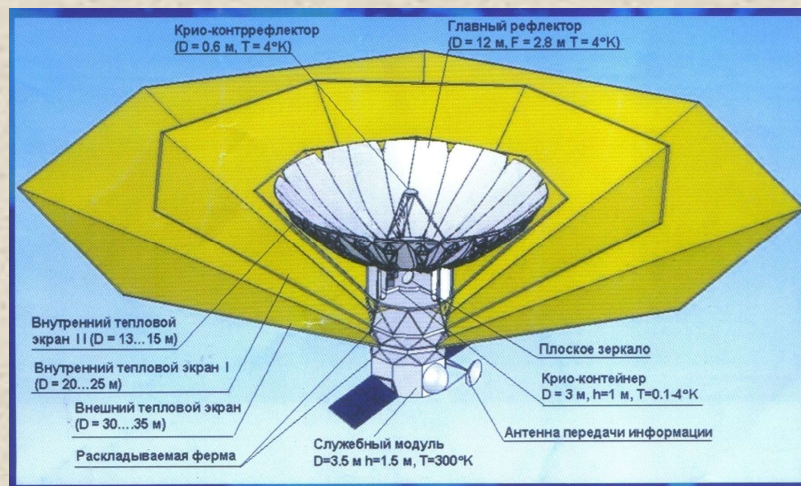
• SEMS

• SEMS



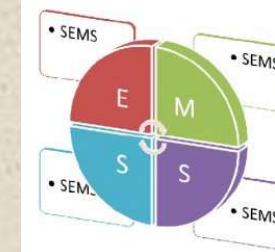
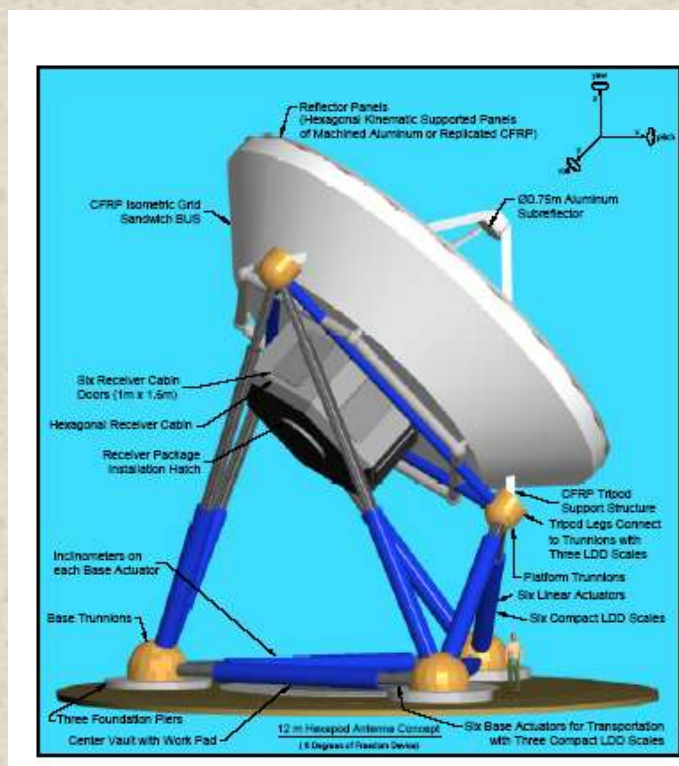
3.2. Применение SEMS

1. Опорно-поворотные устройства антенных установок



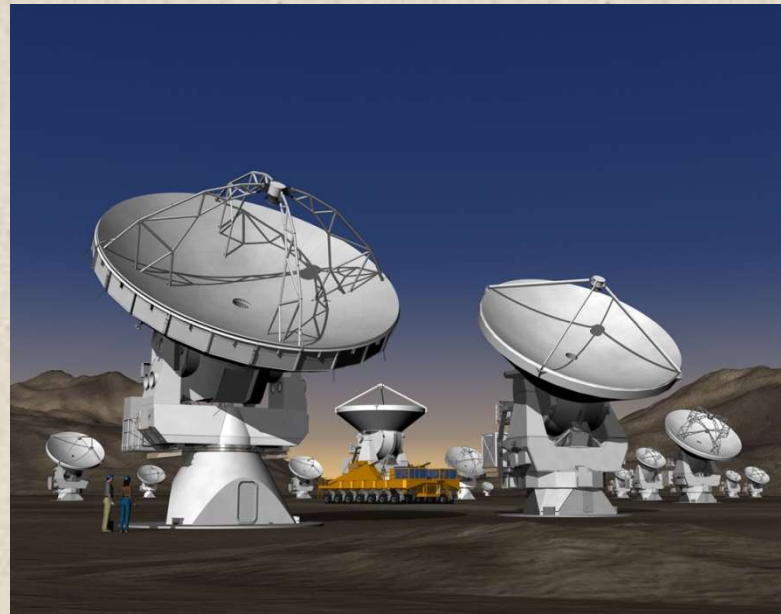
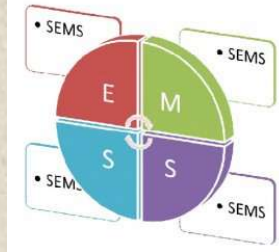
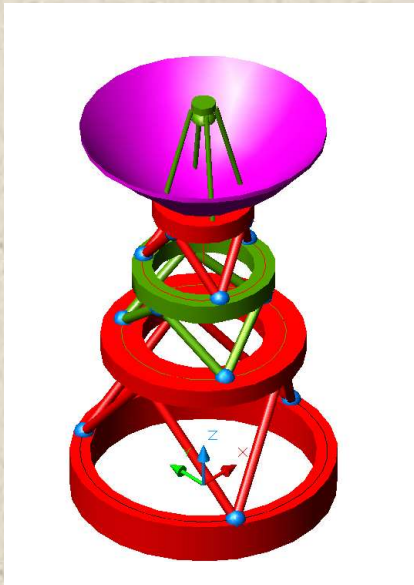
Повышение компактности транспортировки и надежности разворачивания космических антенн

Обеспечение скрытности и мобильности локации за счет гибкости конструкции и перехода в мм диапазон



Применение SEMS

Повышение скорости и точности сканирования при локации

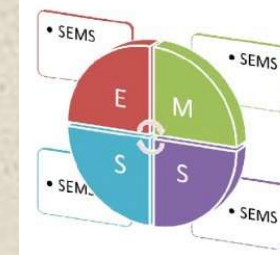


За счет астрономической локации в мм диапазоне появление возможности обнаружения на геостационарных орбитах объектов диаметром 10-20см, а объекты радиусом 10м на расстоянии 600 000 км

Применение SEMS



Обеспечение точного наведения корабельных антенн независимо от волнения моря.



**Платформы оружейных и пусковых установок
Обеспечение быстрого и точного наведения во всем диапазоне углов без поворотов самих подвижных средств**

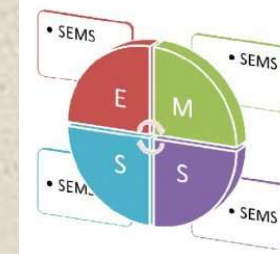
Применение SEMS



Обеспечение большей маневренности и скрытности за счет гибкости и реконфигурируемости конструкции

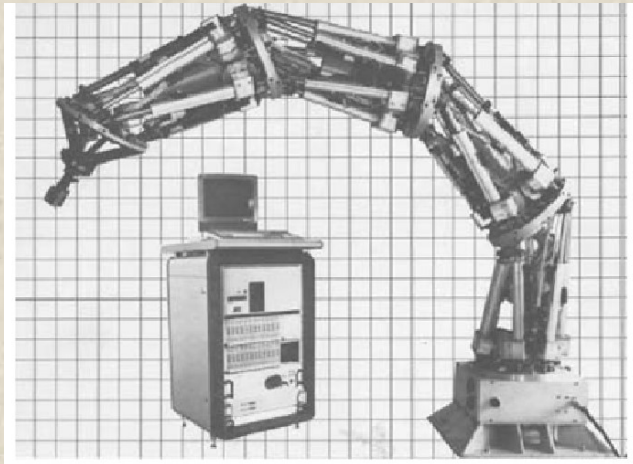


Устранение влияния качки, вибраций и ударов на точность наведения

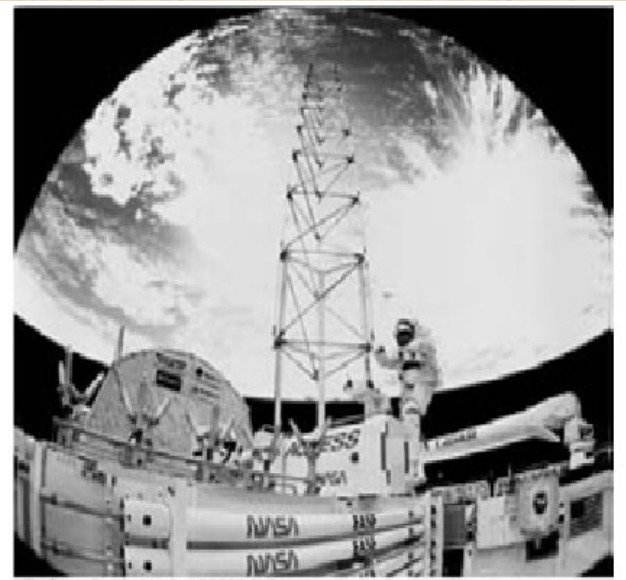


Применение SEMS

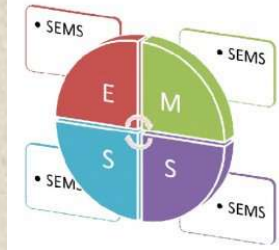
2. Роботы и манипуляторы



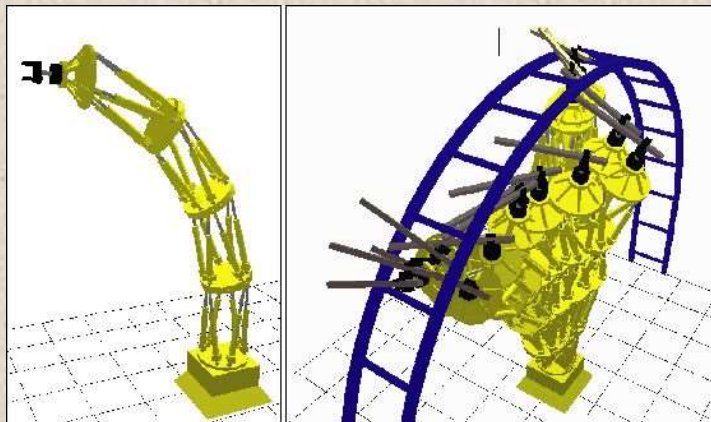
Возможность стрельбы из-за препятствий при использовании конструкций типа «хобот»



Обеспечение работы в космосе и на других планетах



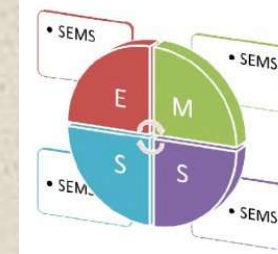
Применение SEMS



Увеличение гибкости и
многофункциональности без уменьшения
точности

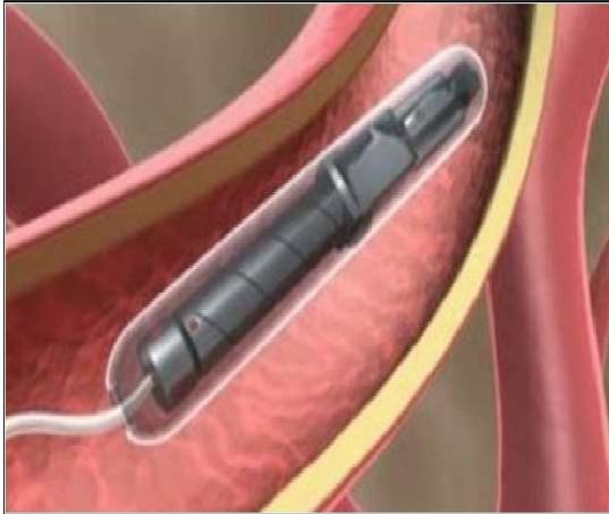


Легкое изменение конфигурации с
возможностью наращивания
функциональных возможностей



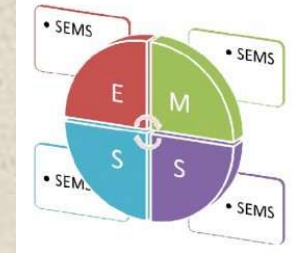
Применение SEMS

3. Микророботы



Обеспечение доставки лекарств в требуемую зону организма за счет перемещения по сосудам

Повышение гибкости и маневренности за счет возможности изменения толщины с одновременными поворотами, а так же за счет сочетания различных типов движителей (винт, реснички, сжатие-растяжение и отталкивание)



4. Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования проводятся в лаборатории динамики систем и материалов (ДСМ).

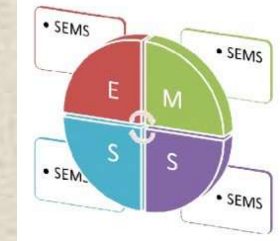
Лаборатория ДСМ создана на базе ИПМаш РАН и СПбГПУ в 2011 году. Расположена на территории политехнического университета. Целью создания лаборатории являлось интеграция усилий и творческого потенциала научных сотрудников РАН и СПбГПУ.

В лаборатории реализуются следующие направления:

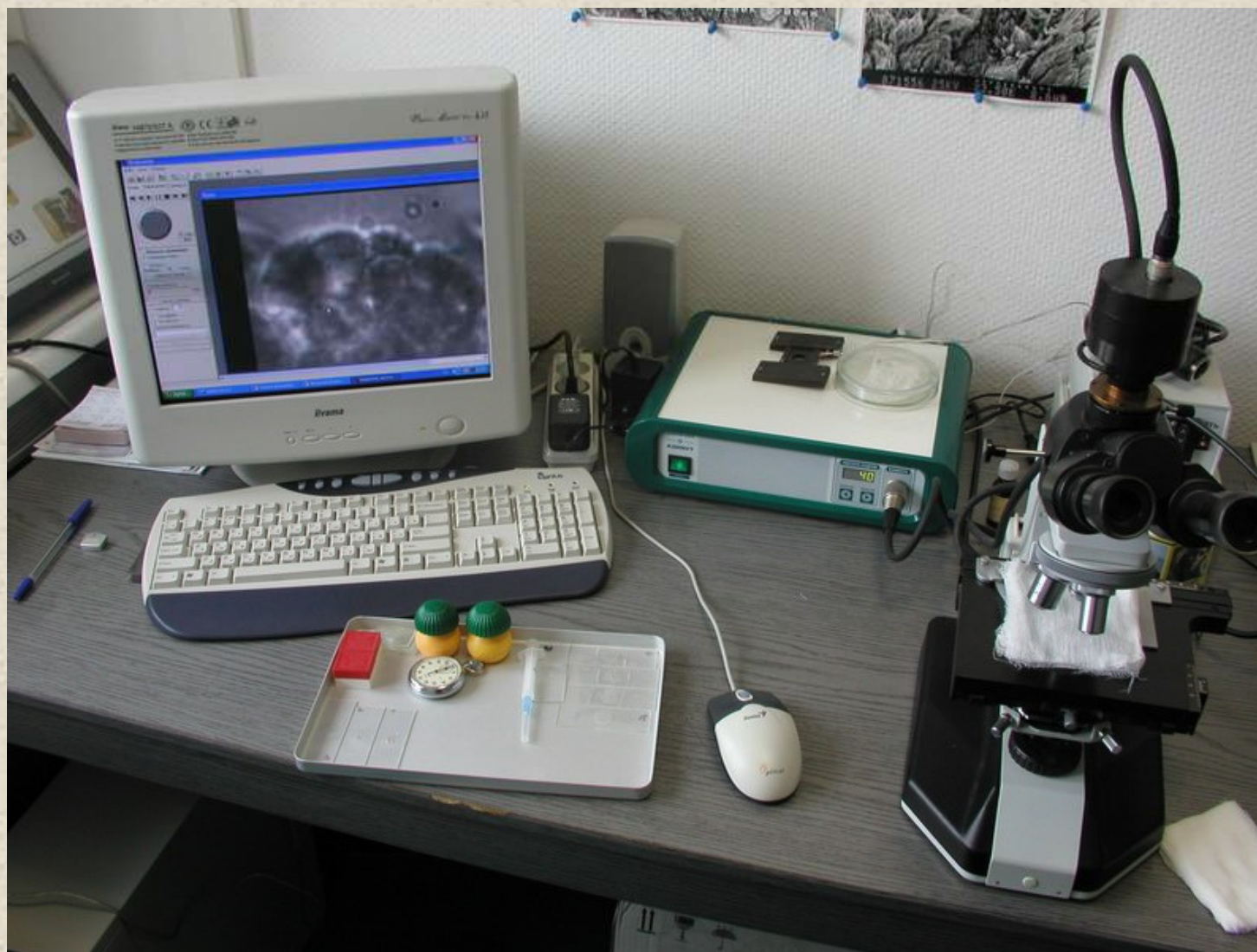
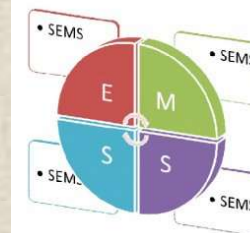
- *Высокоточные измерения геометрии прецизионных деталей.*
- *Исследование микроструктур поверхностей материалов.*
- *Тестирование и метрологические испытания измерительных систем.*

Оборудование в лаборатории ДСМ

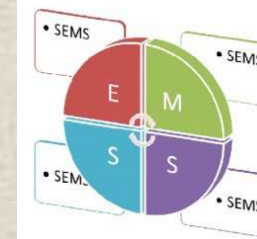
- Координатно измерительная машина фирмы Carl zeiss – O-inspect 420.
- Комплекс для микроскопии, состоящий из 3х современных микроскопов фирмы Carl zeiss, для работы в проходящем так и в отраженном свете.



Медицинский диагностический комплекс



Координатно-измерительная машина



O-inspect

Измерительное устройство **O-INSPECT** воплощает в себе все лучшее в области измерительной техники и все лучшее в области оптики: кроме тактильной измерительной системы в нем имеется оптический датчик.

O-INSPECT – идеальное решение для измерений в производстве пластмасс, медицинской и автомобильной техники, а также в точной механике – т. е. везде, где нужно проводить измерения большого количества деталей с высокой точностью

