

# Анализ влияния динамики космического аппарата на характеристики алгоритмов обработки изображений системы технического зрения проекта “Фобос-Грунт”

Гришин В. А.

Институт космических исследований РАН

# Общее описание проекта

## Задачи проекта:

1. Полет до Марса.
2. Детальная съемка поверхности Фобоса.
3. Уточнение места посадки.
4. **Выполнение посадки.**
5. Взятие проб с поверхности.
6. Проведение ряда исследований.
7. Старт и возвращение проб на Землю.

# Телевизионная система навигации и наблюдения (ТСНН)

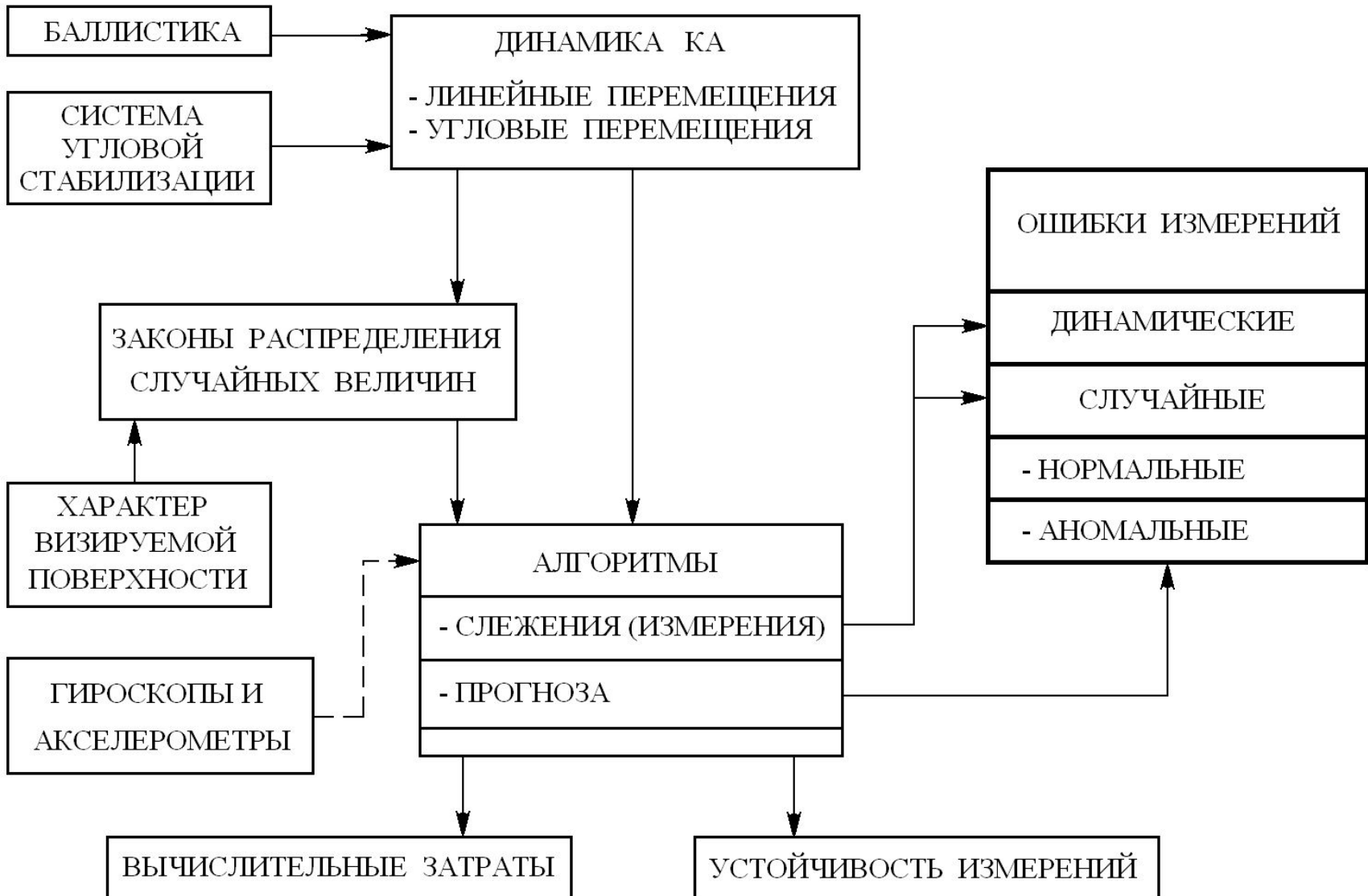
## Состав ТСНН.

1. Две узкоугольные телевизионные камеры ( $f=500$  mm)
2. Две широкоугольные телевизионные камеры ( $f=18$  mm)

## Функции ТСНН.

1. Проведение съемки Марса и Фобоса.
2. Ведение съемки в процессе посадки.
  - Съемка высокого разрешения ( $1000 \times 1000$ ).
  - Репортажная съемка ( $250 \times 250$ ).
3. Информационная поддержка процесса посадки.
  - Выбор места посадки.
  - Измерение высоты.
  - Измерение относительной скорости.

# Влияние динамики КА на процесс измерений.



# Исходные данные для моделирования

## **Баллистическая информация.**

1. Вариант схода с КСО с упреждением прохождения траверза точки посадки (ttp-h.txt ) - ИПМ им. М. В. Келдыша;
2. Вариант схода с КСО при прохождении траверза точки посадки (ttp-v.txt ) - ИПМ им. М. В. Келдыша;
3. Сценарий посадки НПО им. С. А. Лавочкина (“быстрый вариант”).

**Координаты точки посадки: 5° с.ш., 235° долготы.**

## **Модели поверхности Фобоса:**

1. Трехосный эллипсоид с осями 13.0, 11.4 и 9.2 км.
2. Модель ГЕОХИ поверхности Фобоса с шагом 2° на 2°.

Для моделирования использовались алгоритмы, заложенные в ТСНН.

# Сценарии ИПМ им. М. В. Келдыша

1. Сход с КСО
2. Перелет с КСО в точку, расположенную над районом посадки (прицельную точку).  $h \leq 10$  км.  $\Delta t \approx 30$  мин.
3. Вертикальный спуск на большой скорости.
4. Прецизионное торможение  $h \leq 1000$  м.  $V_{\text{верт}} \leq 1.5-2$  м/с,  $V_{\text{бок}} \leq 1$  м/с.

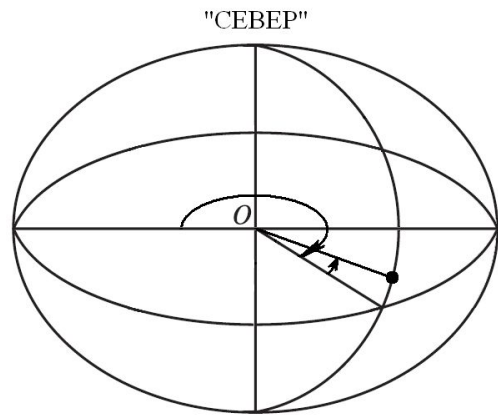
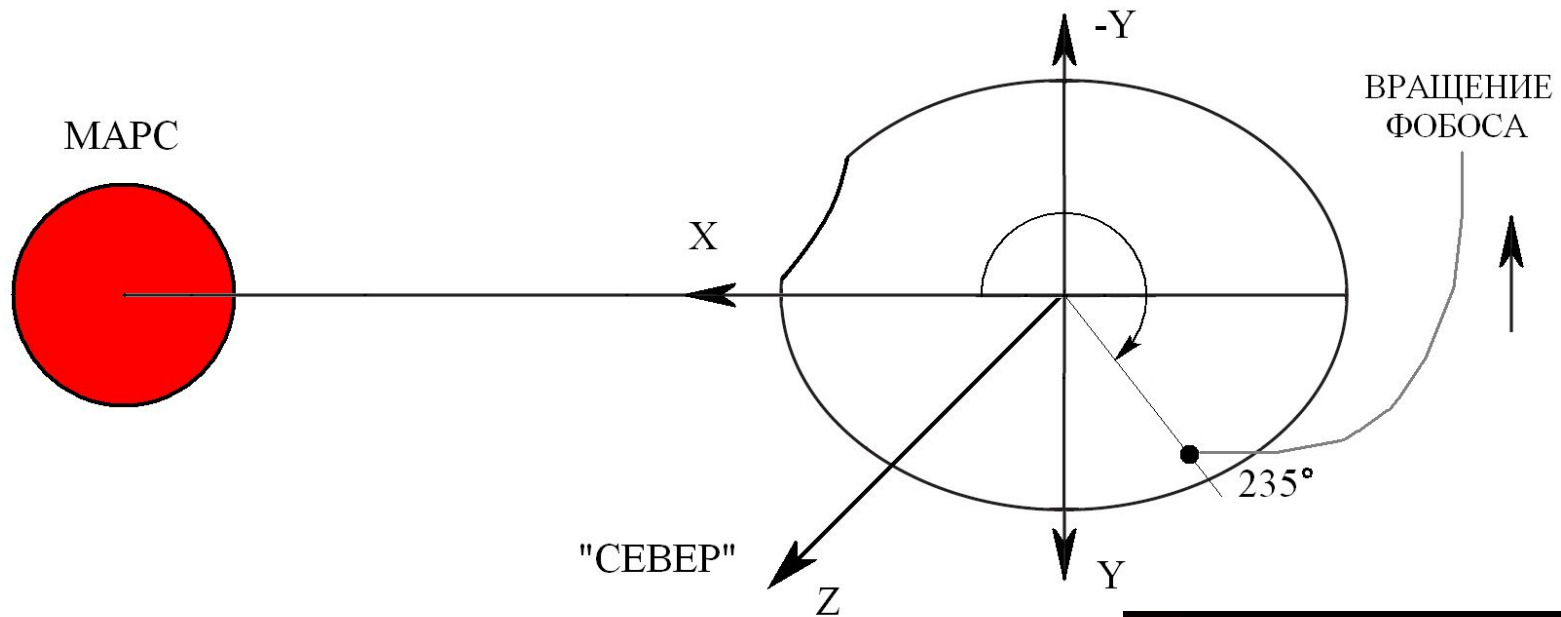
**Особенность:** В процессе посадки происходит совмещение средней нормали к поверхности с осью X аппарата, что порождает интенсивные угловые колебания КА с большими угловыми скоростями.  $\Rightarrow$  Возмущение канала измерения дальности за счет вариаций наклонной дальности и особенно – **возмущение монокулярного канала измерений.**

# Сценарий НПО им. С. А. Лавочкина

импульс схода с КСО прикладывается на высоте	23.2 км
продолжительность снижения от момента завершения импульса схода с КСО до номинального момента включения тормозного импульса	32.4 мин
продолжительность тормозного импульса	71.5 сек
высота на момент начала торможения	691 м
вертикальная скорость на момент начала торможения	13.8 м/сек
боковая скорость на момент начала торможения	2.2 м/сек
высота на момент завершения торможения	200 м
продолжительность падения КА от момента завершения тормозного импульса до контакта с поверхностью	272 сек
вертикальная скорость на момент контакта с поверхностью	1.44 м/сек
боковая скорость на момент контакта с поверхностью	0.34 м/сек

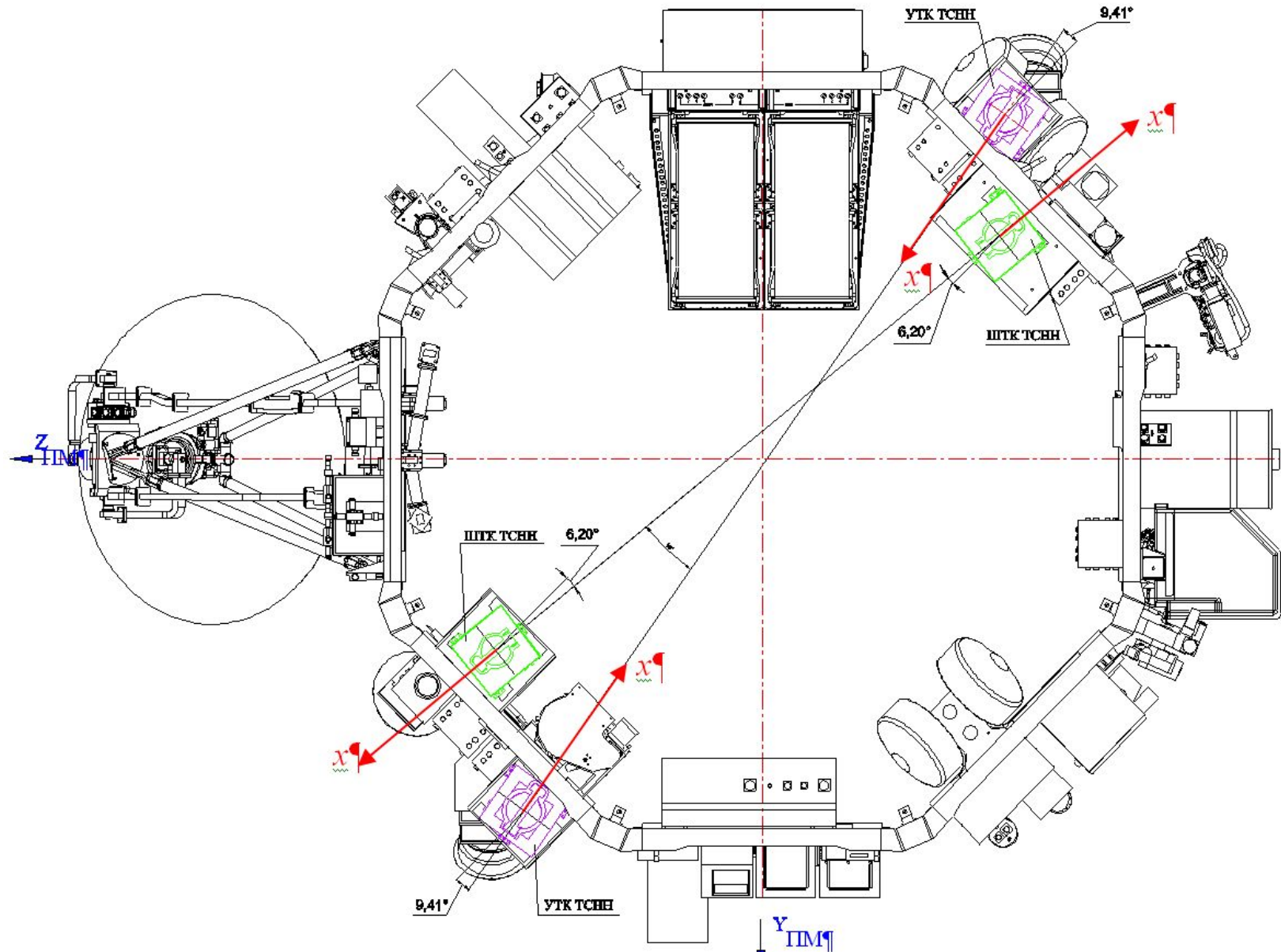
**Особенность:** Процесс посадки выполняется в инерциальном пространстве, что исключает интенсивные угловые колебания КА.  $\Rightarrow$  Создаются благоприятные условия для работы СТЗ.

# Системы координат Фобоса





# Расположение камер на КА



# Стереорежим

Высота и её оценки  
Coarse и Precise

Диспаратность на  
изображении  
250\*250

Вертикальная  
скорость и её  
оценка на последних  
48.6 метрах.

# Стереорежим

Прогнозируемые  
границы  
диспарантностей  
(смещены  
относительно  
текущей  
диспарантности)

Расширенные  
границы области  
поиска  
соответствия.

# Стереорежим. Влияние разброса диспарантности 0.05

Сценарий НПО им. С.  
А. Лавочкина

Высота и её оценки  
Coarse и Precise

Вертикальная  
скорость и её  
оценка на последних  
48.6 метрах.

Прогнозируемые  
границы  
диспарантностей  
(смещены  
относительно текущей  
диспарантности)

# Стереорежим. Влияние разброса диспаратности 0.1

Высота и её оценки  
Coarse и Precise

Вертикальная  
скорость и её  
оценка на последних  
48.6 метрах.

Прогнозируемые  
границы  
диспаратностей  
(смещены  
относительно текущей  
диспаратности)

# Стереорежим

Допустим, диспаратность равна 25 пикселям.  $H=48.6$  м.

Разброс по диспаратности 0.05 дает разброс по дальности 46.3-51.1 м. на площадке размером  $20 \times 10$  м.

Разброс по диспаратности 0.1  $\Rightarrow$  разброс по дальности 44.2-54 м. на площадке размером  $20 \times 10$  м.

Оптимизация параметров алгоритмов:

1. Прогноз области поиска соответствия в режиме слежения
2. Прогноз области поиска соответствия в режиме сбоя

**Учет: Текущие оценки, дисперсию измерений дальности, дискретность измерения диспаратности, флюктуации оценок скорости, коррекцию приращений на малых дальностях**

# Монокулярный режим

Высота и  
расстояния до  
поверхности

Изменения координат и  
расстояния до  
поверхности  
за цикл обработки

Изменения углов  
ориентации и  
коэффициента  
масштабирования  
изображения

# Монокулярный режим

Величина ошибки прогноза вектора перемещения точки в поле зрения и график режимов работы алгоритма

Компоненты векторов перемещения точки поле зрения (на изображении 62\*62).



# Прогноз

$$\hat{S}_{p i+1} = W_0 \hat{S}_{p i} + W_1 \Delta X_i$$

Простейший рекурсивный фильтр. Ошибка прогноза нарастающим итогом (55 измерений).

Сценарий ttp-h.txt			Сценарий ttp-v.txt.		
w0	w1	Суммарная ошибка прогноза	w0	w1	Суммарная ошибка прогноза
1	0	309	1	0	247
0.7	0.3	280	0.7	0.3	217
0.4	0.6	274	0.4	0.6	216
0.1	0.9	282	0.1	0.9	215
0	1	287	0	1	217

По сценарию НПО им. С. А. Лавочкина ошибка прогноза в 203 раза меньше (при 87 измерениях)

Зависимость оптимальных параметров алгоритмов от сценария посадки

# Выводы

1. Динамика КА влияет самым непосредственным образом на ошибки измерений (динамические и случайные - нормальные).
2. Динамика КА влияет опосредованно на ошибки измерений через профиль визируемой поверхности.
3. Динамика КА оказывает определяющее влияние на алгоритмы прогноза, используемые для формирования областей поиска соответствия; от этого зависит интенсивность потока аномальных ошибок.
4. Алгоритмы обработки информации должны учитывать динамику КА для повышения точности и устойчивости измерений.
5. Особенно это важно в случае, когда нет запасов по вычислительной мощности процессоров, используемых для обработки видеоинформации.