Комплексирование наблюдательной и навигационной информации для полетной верификации работы системы управления спутника и улучшения измерительных свойств космических снимков

Е.И. Сомов, С.А. Бутырин

НИИ Проблем надежности механических систем Самарского государственного технического университета

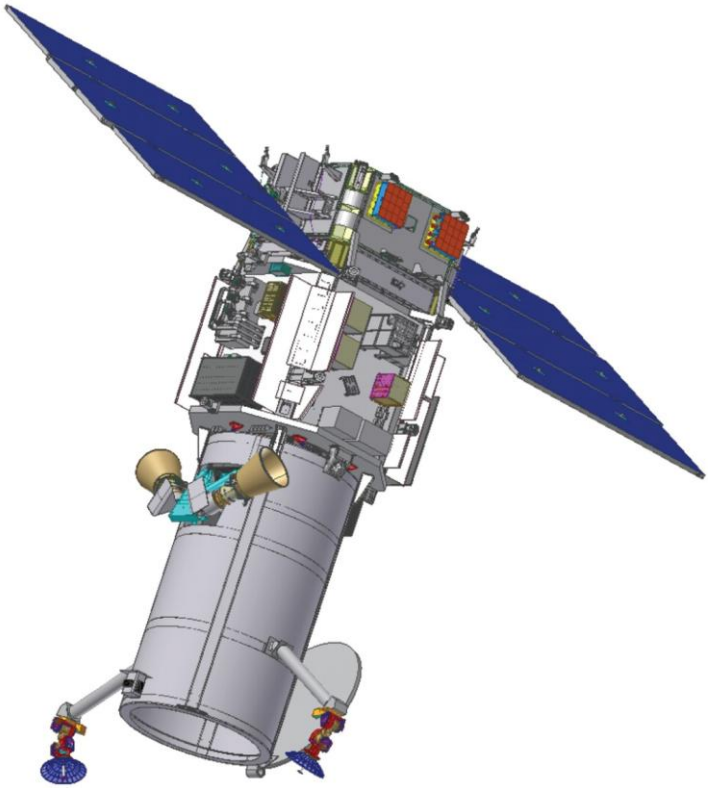
E-mail e_somov@mail.ru

Работа поддержана РФФИ (проекты 07-08-97611, 08-08-99101, 08-08-00512) и отделением ЭММПУ РАН (программа фундаментальных исследований № 15)

Научная конференция «Техническое зрение в системах управления», 2011, Москва

Кратко представляются методики комплексирования навигационной и наблюдательной информации, применяемые для полетной верификации работы системы навигации и управления движением (СНУД) спутника и улучшения измерительных свойств космических снимков, а также для их геодезической привязки

- **Калибровка и юстировка БИНС**
- **Юстировка телескопа и астросистемы**
- **Обработка навигационной информации**
- **Обработка наблюдательной информации**
- **Комплексирование, верификация СНУД**
- **Улучшение измерительных свойств и геодезическая привязка космических снимков**



Спутник наблюдения
WorldView-2 (США), 2800кг
Запущен в октябре 2009,
САС 7.5 лет

Спутник наблюдения
Ресурс-П (Россия), ≈6500 кг
Планируется запуск в 2011,
САС 5 лет

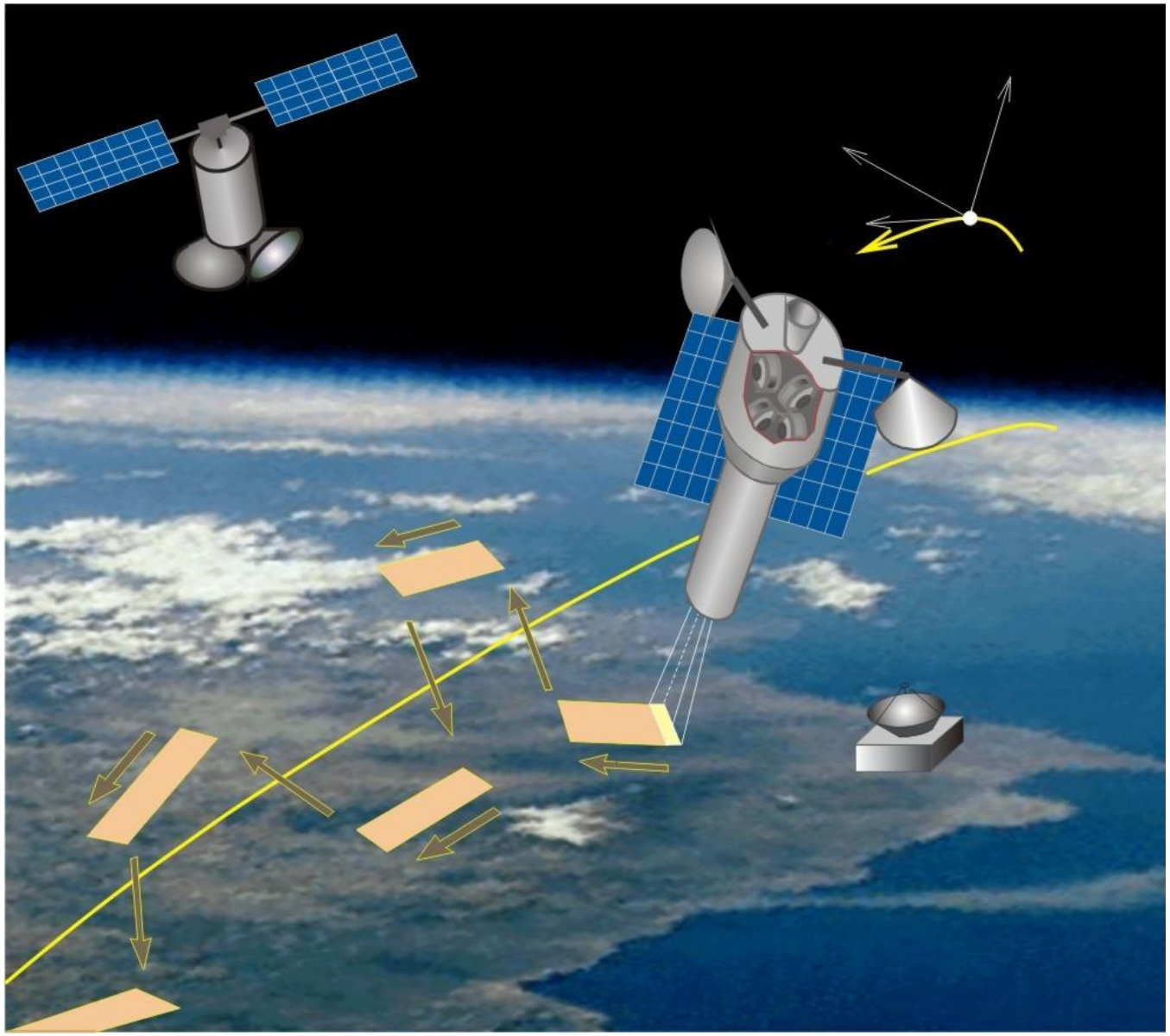
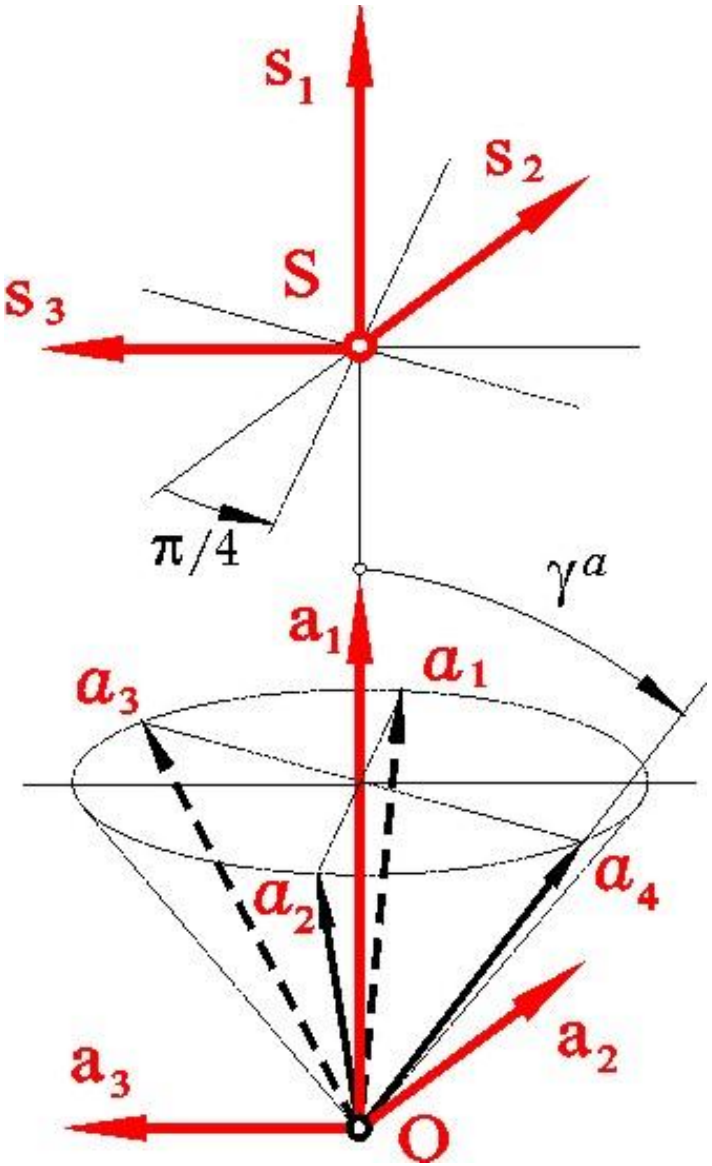
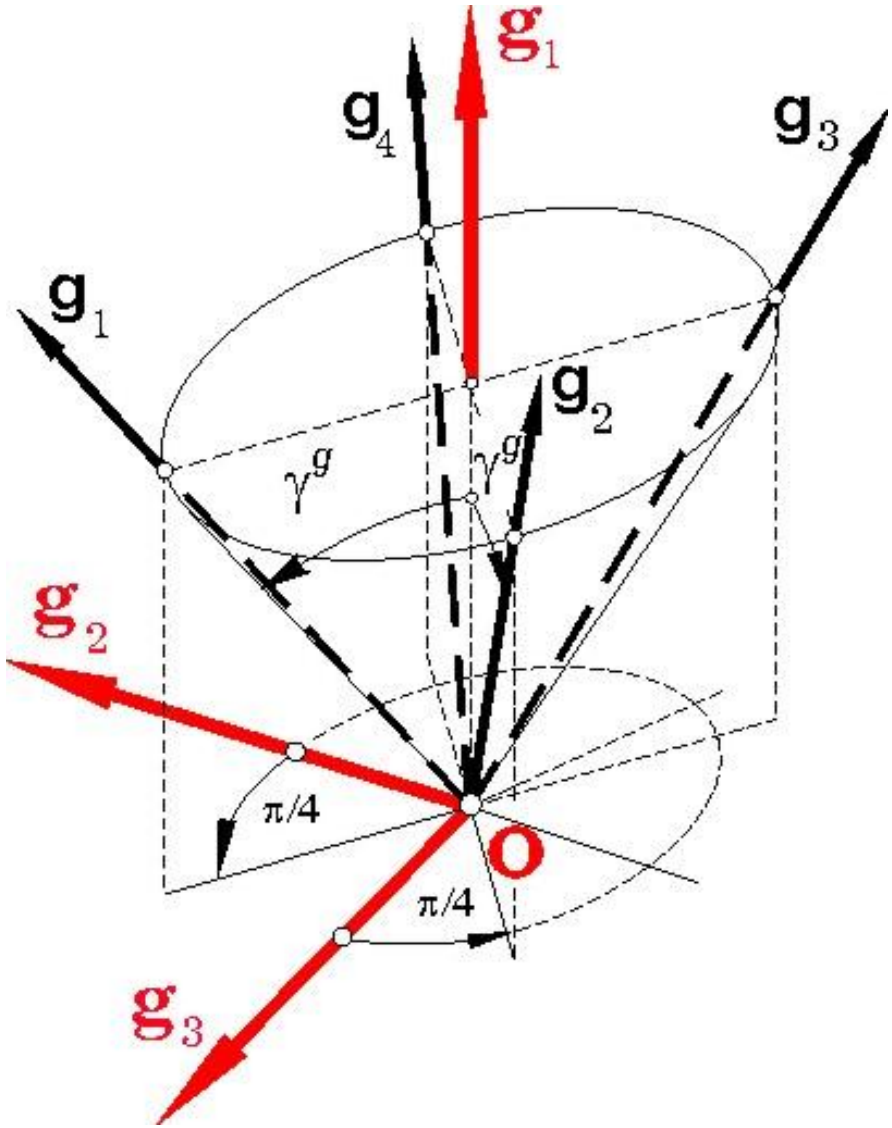


Схема сканирующей оптико-электронной съемки заданных целей



Базисы телескопа и астросистемы



Базис инерциального блока

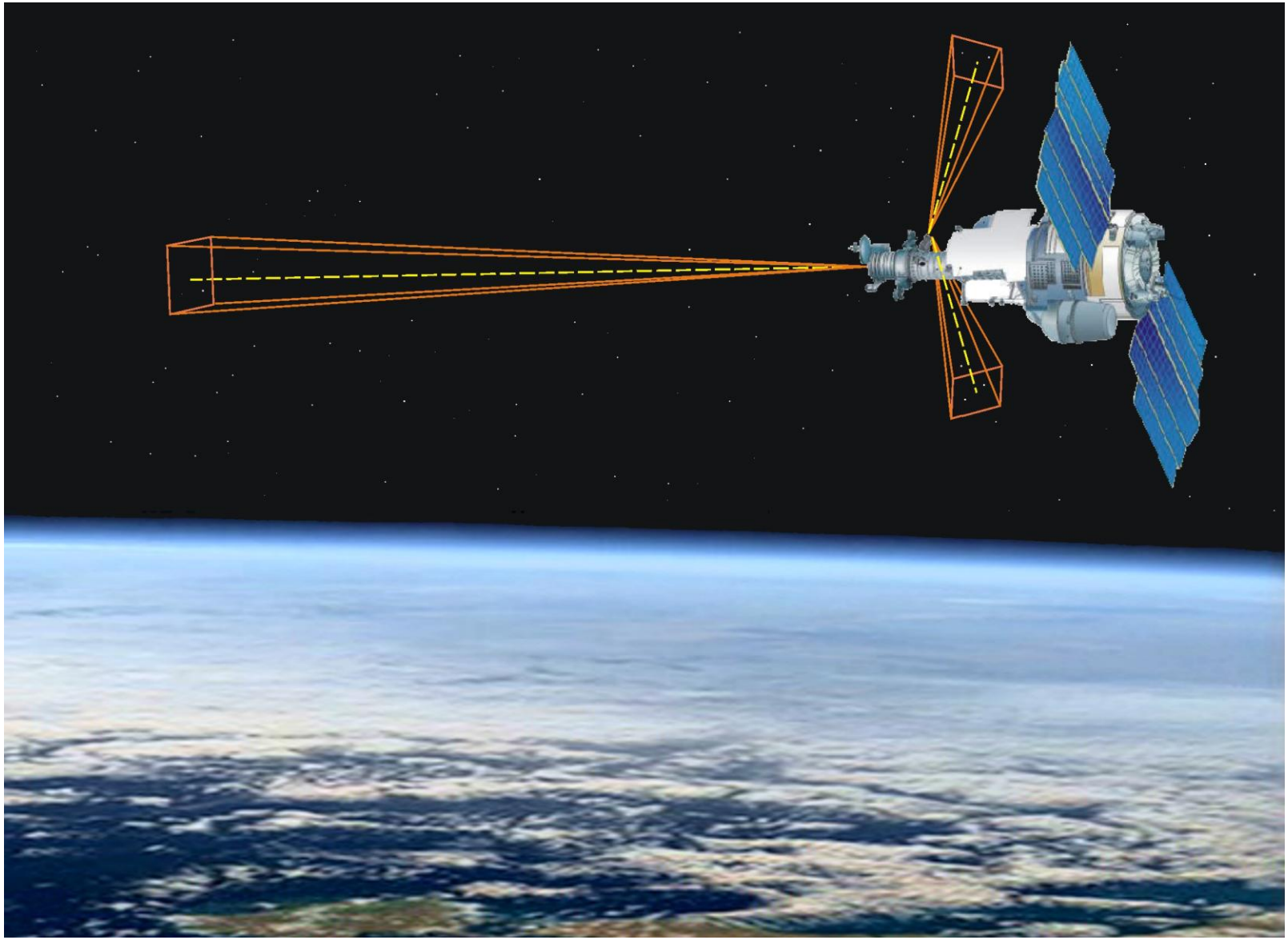
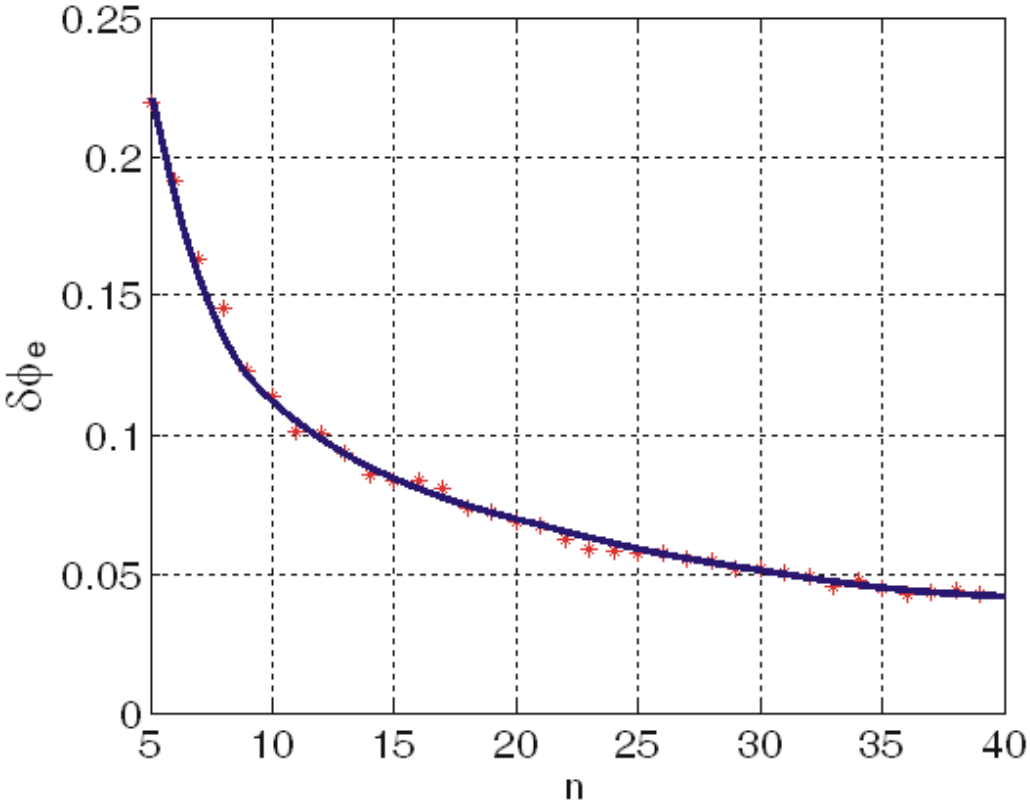
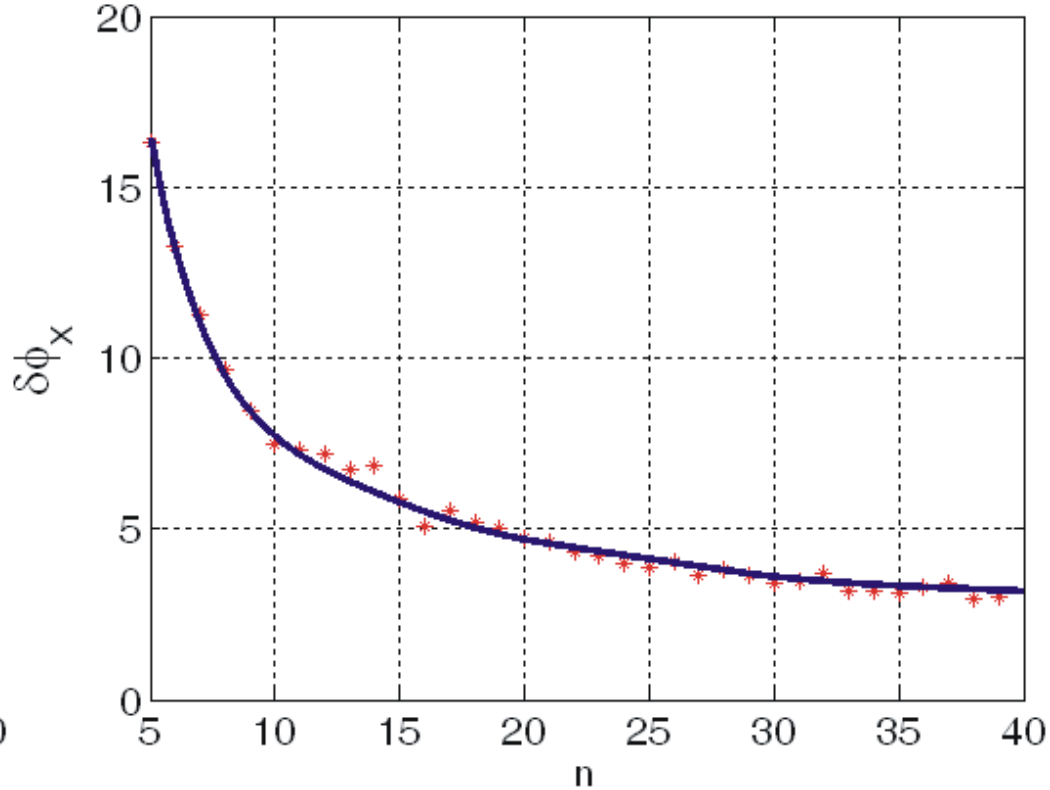
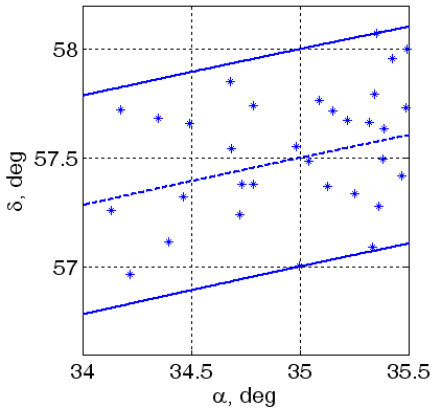
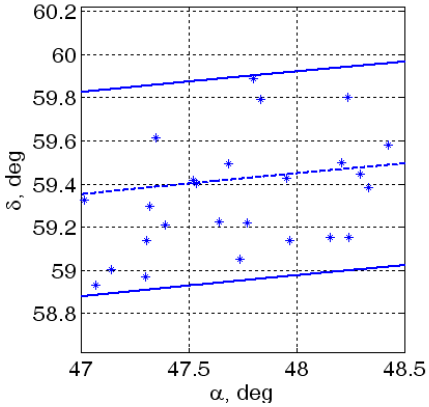


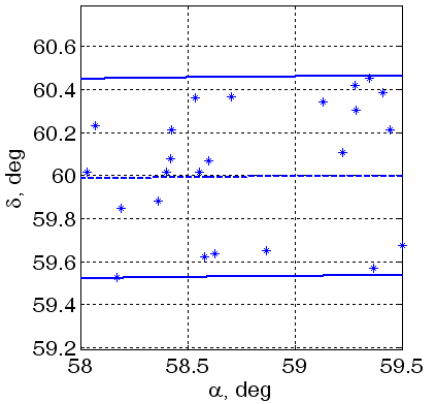
Схема юстировки телескопа и астросистемы


0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
δφe
5
10
15
20
25
30
35
40
n

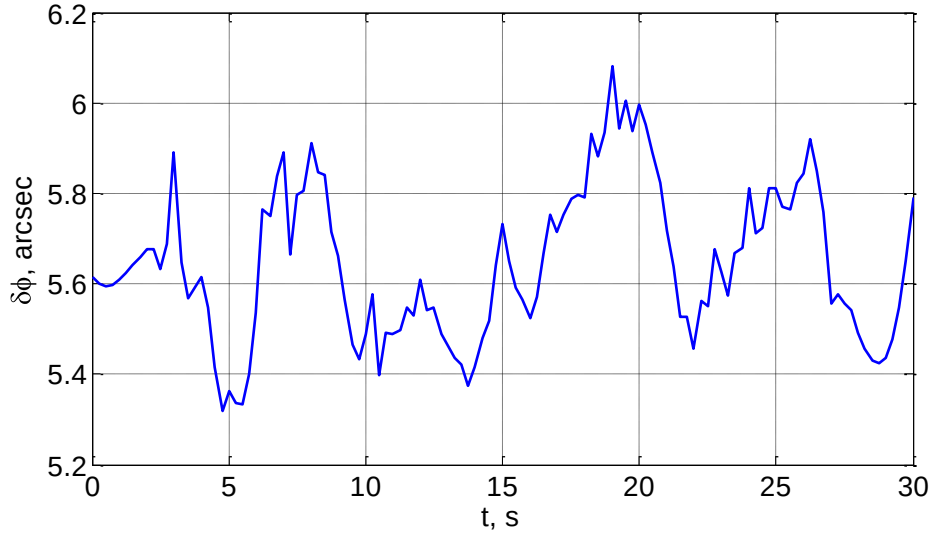

20
15
10
5
0
δφx
5
10
15
20
25
30
35
40
n


58
57.5
57
δ, deg
34
34.5
35
35.5
α, deg

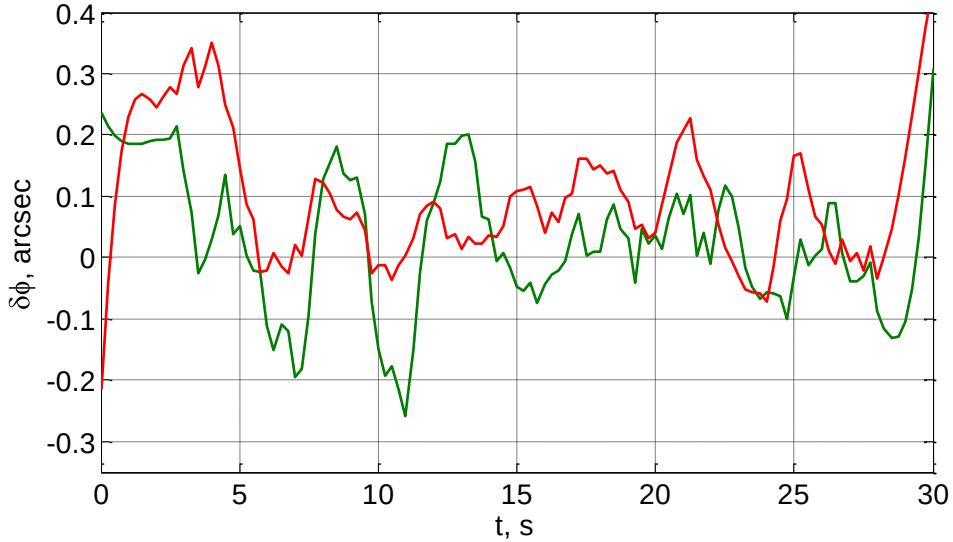

60.2
60
59.8
59.6
59.4
59.2
59
58.8
δ, deg
47
47.5
48
48.5
α, deg


60.6
60.4
60.2
60
59.8
59.6
59.4
59.2
δ, deg
58
58.5
59
59.5
α, deg

Обработка навигационной информации



Погрешность восстановления ориентации ВСК телескопа по оси визирования



Погрешности восстановления ориентации ВСК телескопа по поперечным осям

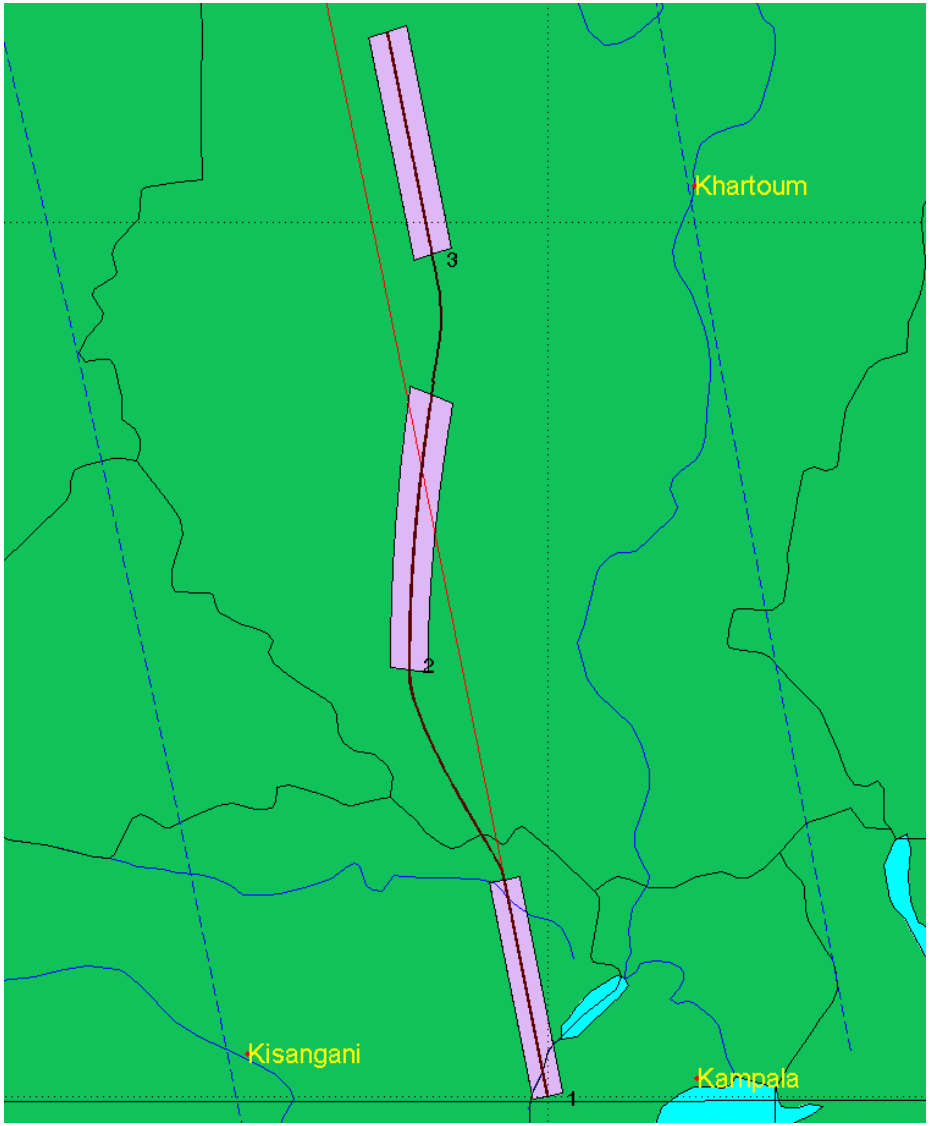
1) М1, [0,60]

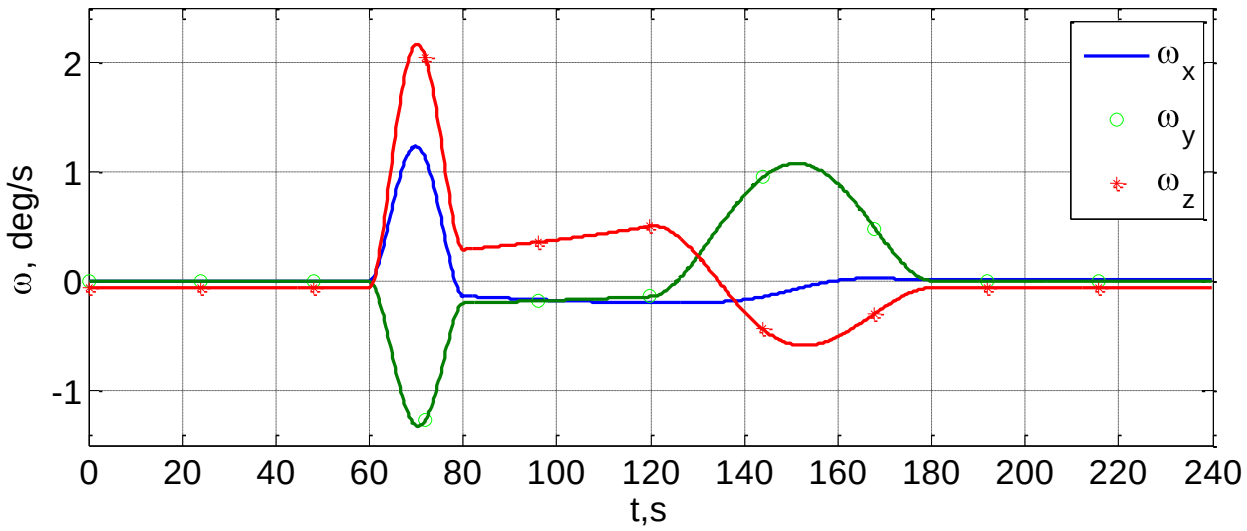
2) ПМ 1, [60,80]

3) М2, [80,120]

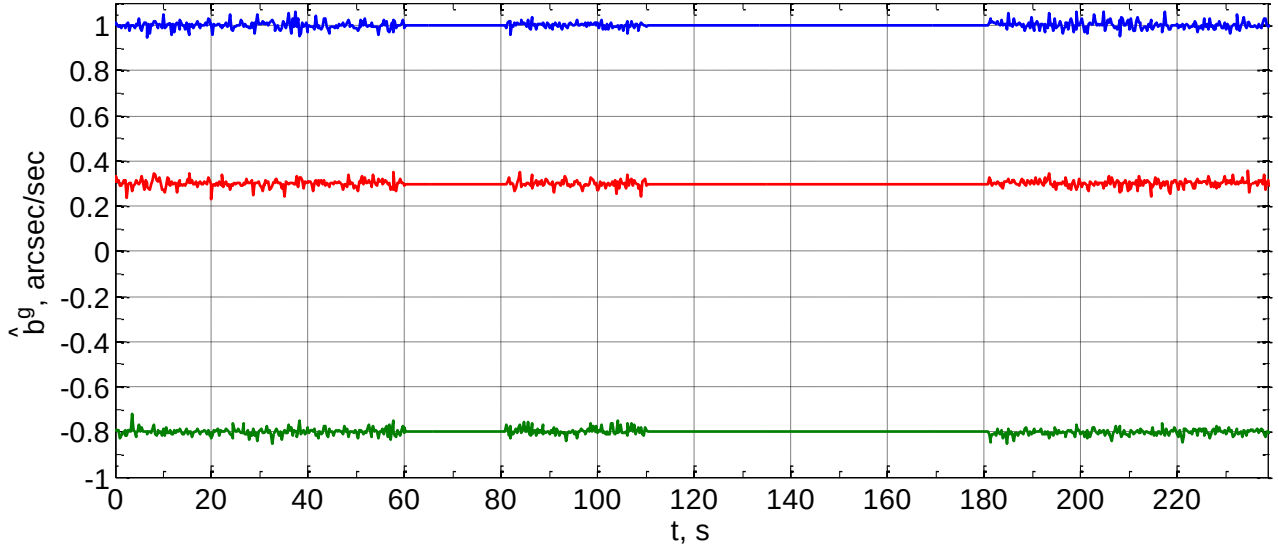
4) ПМ 2, [120,180]

5) М3, [180,240]

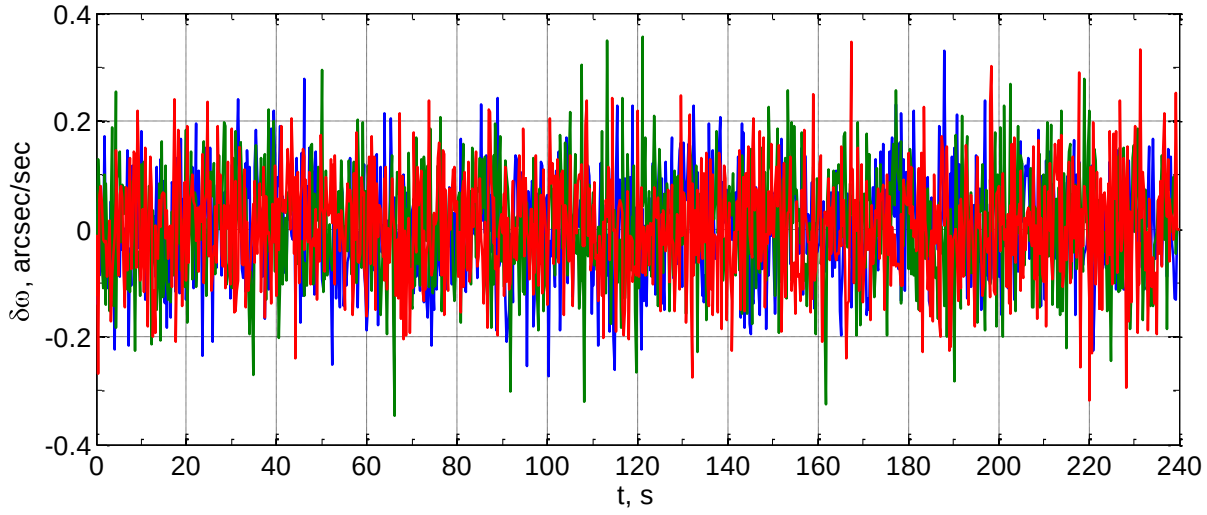




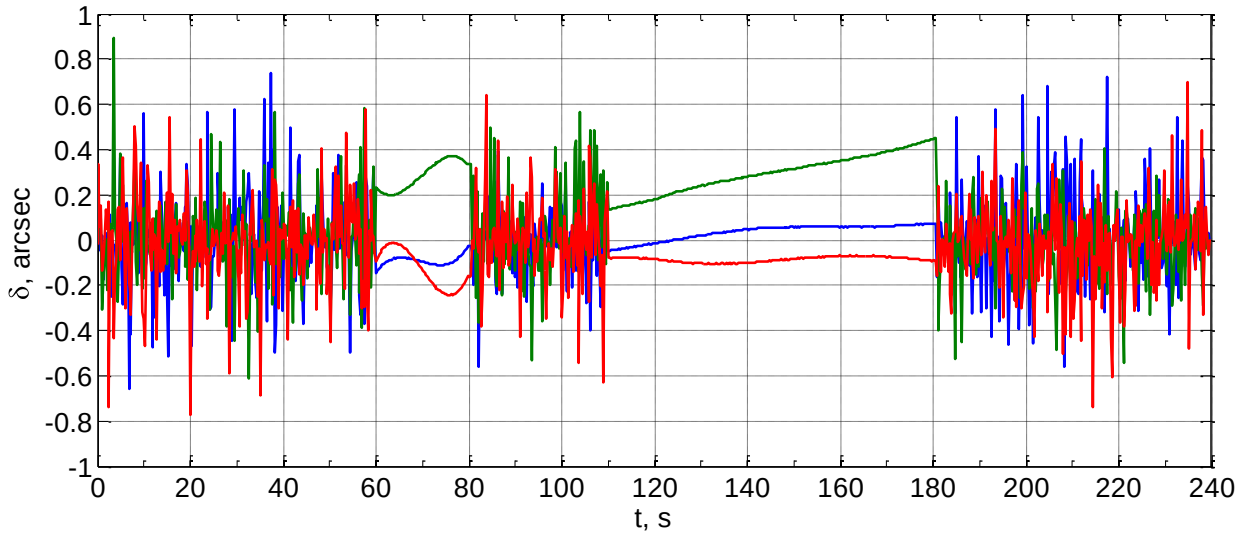
Угловые скорости КА в последовательности маршрутов съемки и поворотных маневров



Рекуррентная оценка и компенсация дрейфа ИБ по угловой скорости



Погрешности оценки компонентов вектора угловой скорости



Погрешности оценки компонентов вектора углового положения

Задача определения ориентации телескопа на основе наблюдательной информации

Два этапа

1. Определение ориентации в начале маршрута на основе навигационной информации
2. Уточнение фактического относительного углового движения КА на маршруте

Исходные данные для определения относительной ориентации

1. Снимки земной поверхности, полученные с двух линеек ОЭП либо 2 снимка с перекрытием, полученные одной матрицей ПЗС

2. Служебная сопровождающая информация:
- измерения БИНС: кватернион ориентации и вектор угловой скорости
- баллистические измерения GPS/GLONASS (параметры движении ЦМ КА)

3. Информация о конструкции телескопа
- данные оптического тракта телескопа
- геометрия фокальной плоскости

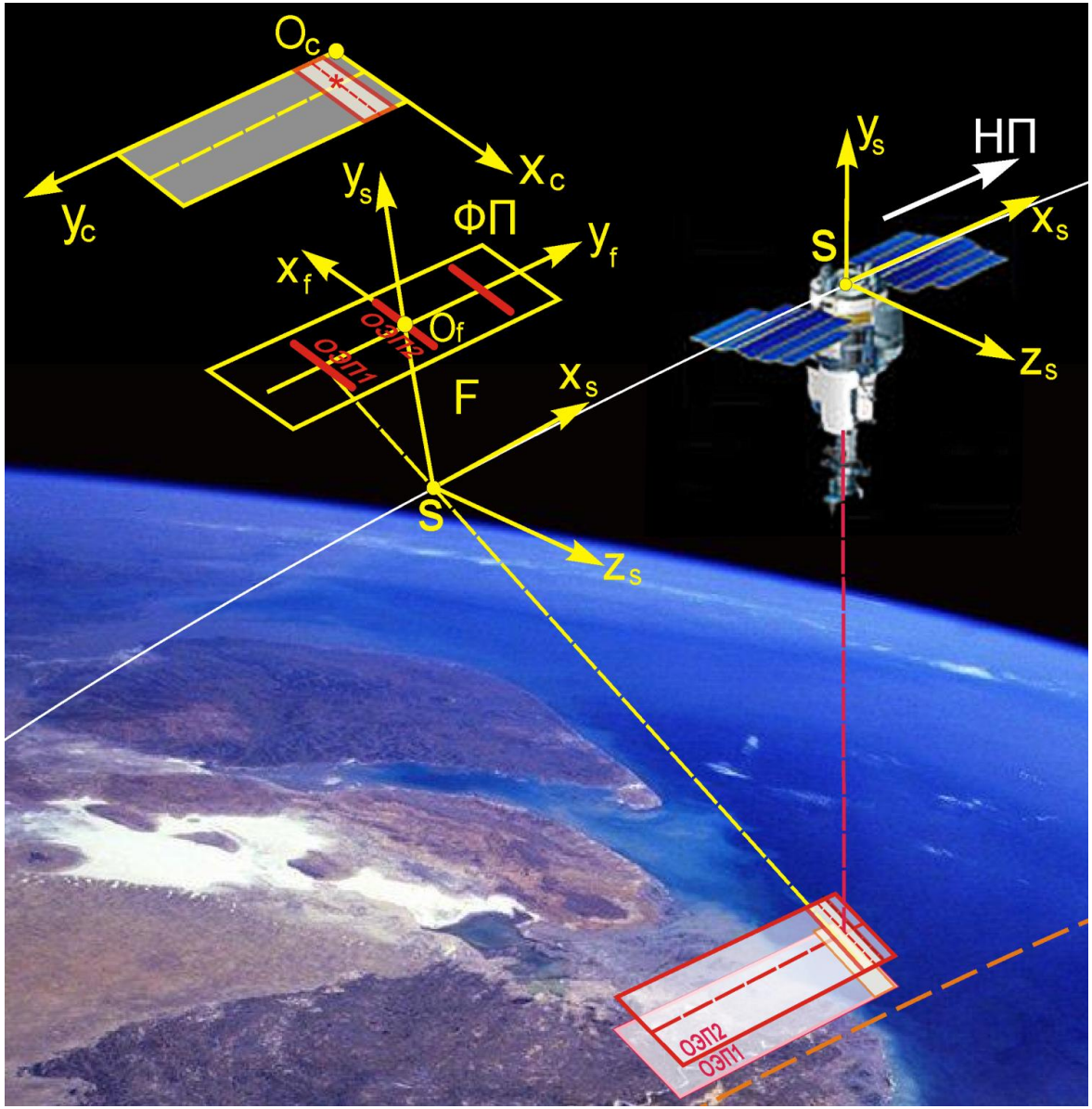


Схема определения относительной ориентации по снимкам земной поверхности

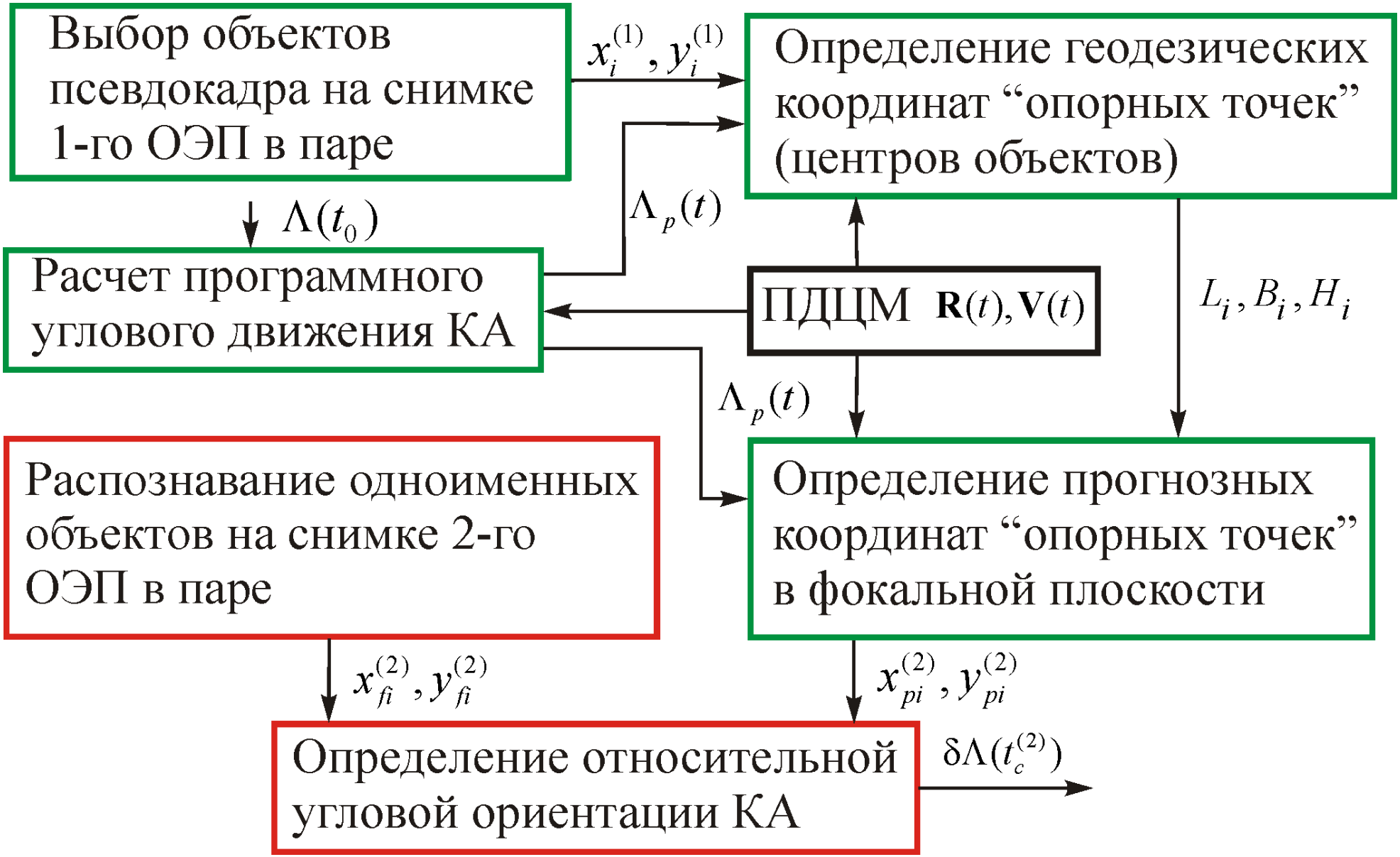
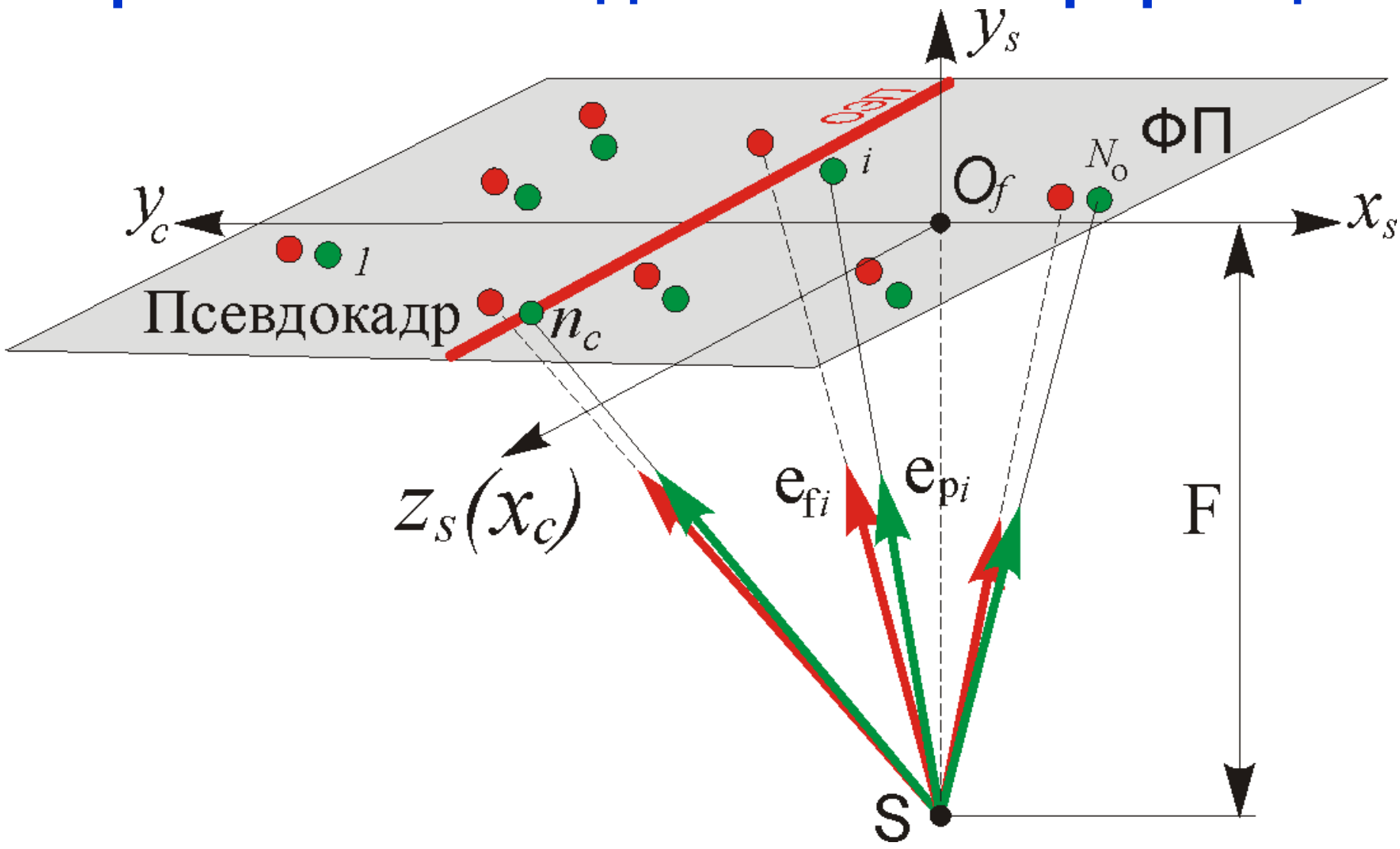


Схема решения задачи

Обработка наблюдательной информации



Алгоритм QUEST обработки векторных измерений по МНК

Найти ортогональную матрицу **A** с определителем, +1, которая минимизирует квадратичный критерий

$$\frac{1}{2}\sum_{1}^{N_o} a_i \,|\, \mathbf{e}_{pi} - \mathbf{A}\mathbf{e}_{fi} \,|^2 \Rightarrow \min$$

Задача сводится к решению уравнения

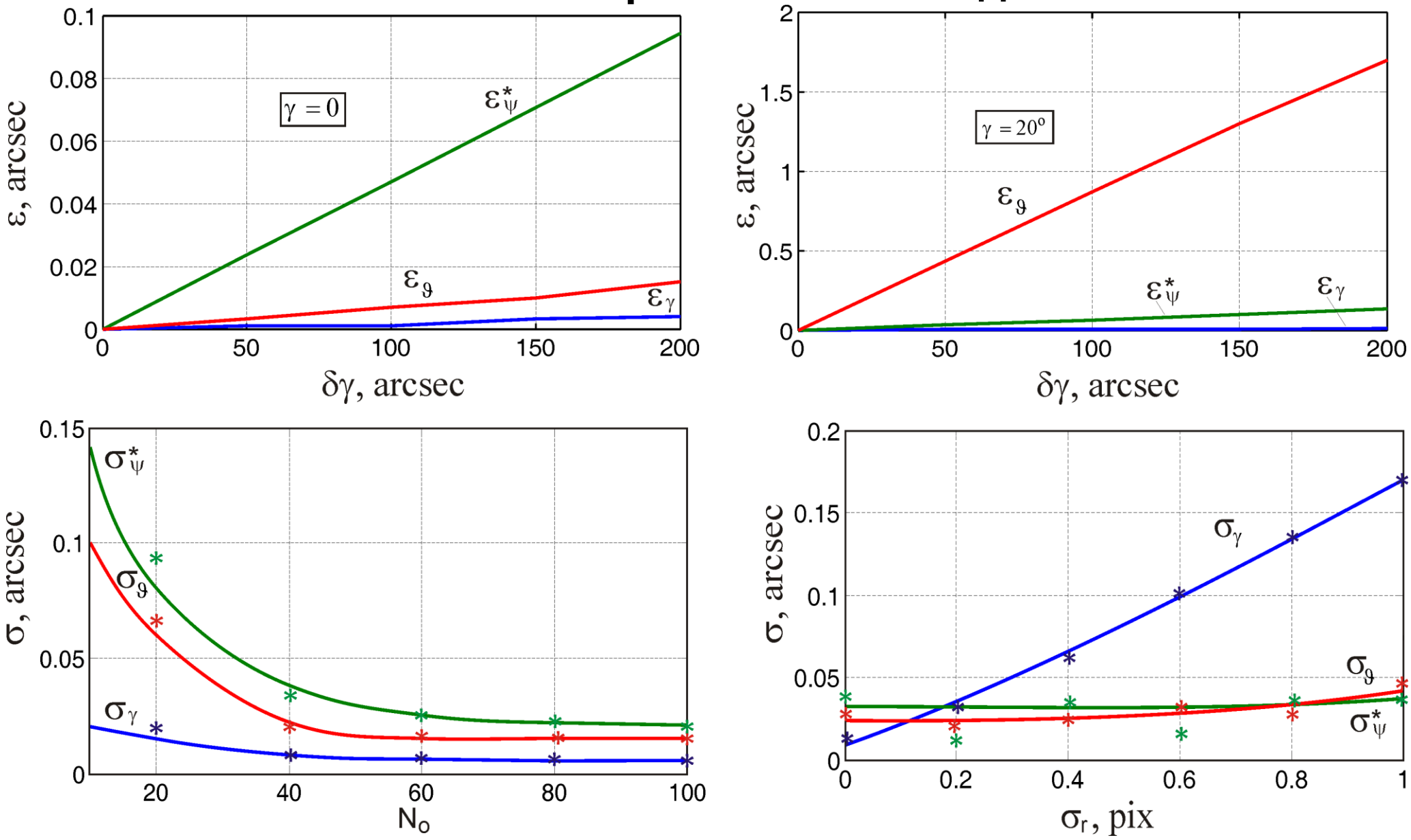
$$\mathbf{K}\delta\Lambda = q_{\max} \cdot \delta\Lambda$$

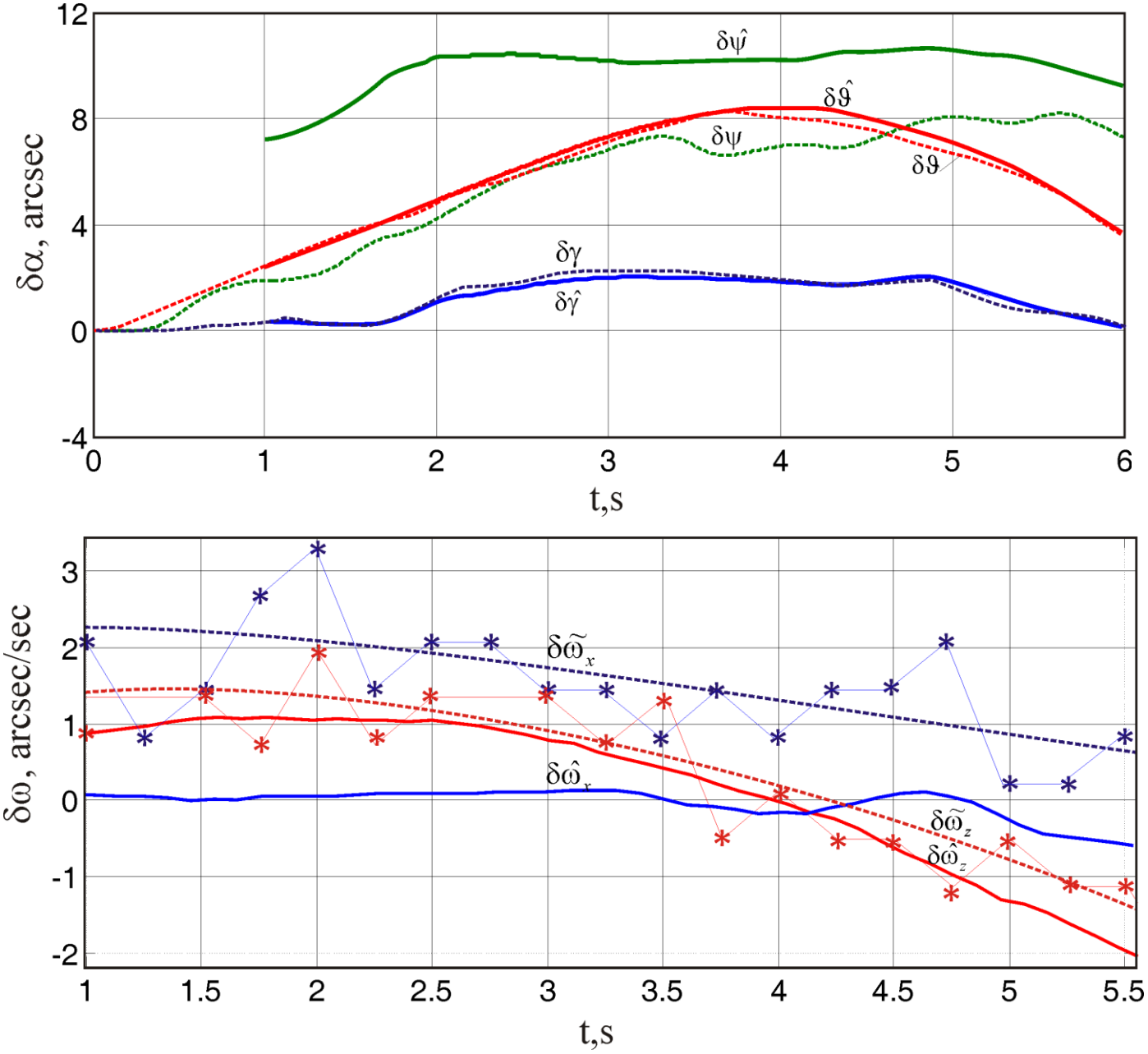
где $q_{\max}$ - наибольшее собственное значение матрицы $\mathbf{K}$ вида

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \mathrm{tr}\mathbf{B} & \mathbf{z}^{\mathrm{T}} \\ \mathbf{z} & \mathbf{S} - \mathbf{I}_3 \mathrm{tr}\mathbf{B} \end{bmatrix},$$

и $\mathbf{B} = \| b_{ij} \| = \sum_i a_i \mathbf{e}_{pi} \mathbf{e}_{fi}^{\mathrm{T}}, \quad \mathbf{S} = \mathbf{B} + \mathbf{B}^{\mathrm{T}}, \quad \mathbf{z} = \sum_i a_i \mathbf{e}_{pi} \times \mathbf{e}_{fi}$

Анализ погрешностей метода




δα, arcsec
t,s
δψ̂
δϑ̂
δψ
δϑ
δγ
δγ̂
δω, arcsec/sec
δω̃x
δω̂x
δω̃z
δω̂z

Данные демонстрационного примера

Длительность маршрута 5 с
Программные углы крена +20° , тангажа 0°
Отклонение программного движения от бортовой программы $1'$
Размер псевдокадра 500 строк (0.1 с), число объектов в псевдокадре 51, частота строк 5000 Гц
Отклонение фактического движения от программного до
Погрешности определения координат центров объектов на снимках 0.2 пикселя $10''$
Точное знание взаимного положения матриц ОЭП
Равнинный рельеф

Результаты

Средняя ошибка восстановления по модулю крена $0''.12$ и тангажа $0''.2$, (максимальные $< 0''.5$), по рысканию $4''.5$
Измерительные свойства снимка до 1 м в плане

Заключение

- Разработана методика определения относительной ориентации КА по видеоинформации, основанная на сравнении координат одних и тех же наземных объектов в смежных кадрах с перекрытием либо в снимках с пар ОЭП при сканирующей съемке.
- Решение задачи сводится к определению кватернионов поворота КА от его программной ориентации к фактической ориентации при совмещении изображений объектов на двух снимках по обобщенному методу наименьших квадратов.
- Разработанная методика комплексирования видеоинформации с навигационными данными позволяет получить высокоточную информацию о фактическом угловом положении телескопа в процессе оптико-электронной съемки, НО при этом необходима тщательная калибровка оптического тракта телескопа и геометрии его фокальной плоскости.
- Результаты комплексирования применяются для верификации работы СНУД КА и улучшения измерительных свойств космических снимков, а также для их геодезической привязки.