

Институт прикладной математики им. М.В.
Келдыша РАН

**Возможности использования антенны П2500 для
баллистического обеспечения перспективных
космических проектов. Траекторные измерения,
радиолокация, РСДБ**

Доклад на рабочей встрече представителей

НКАУ и Роскосмоса

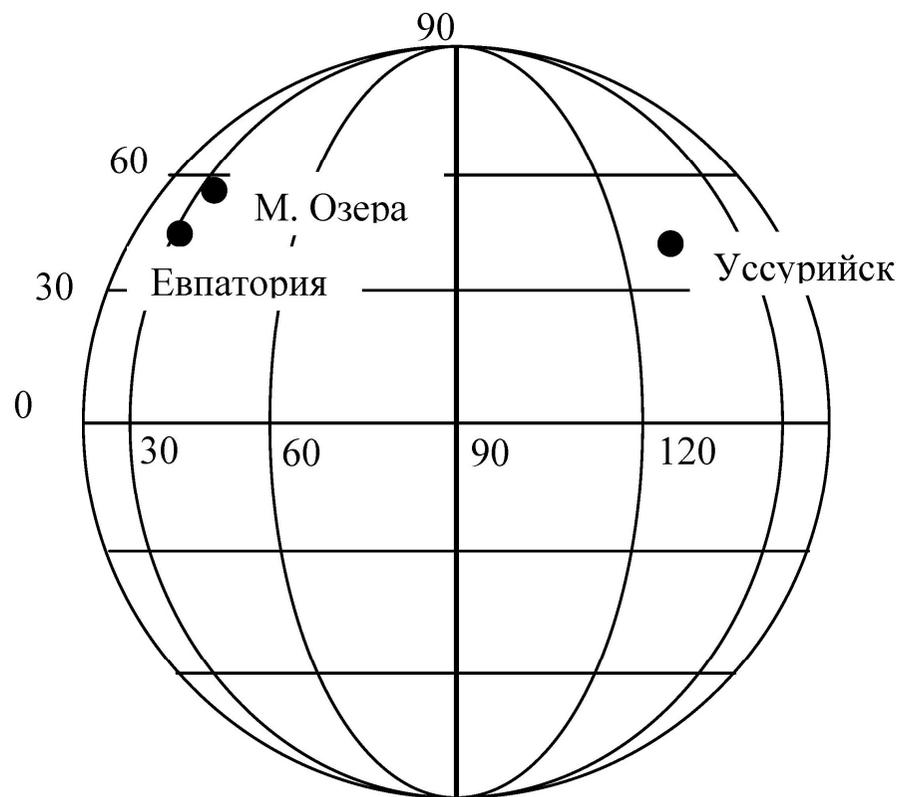
г. Химки, 13-14 декабря 2010 г.

Геометрия расположения больших антенн

Перспективные проекты полетов КА к планетам Солнечной Системы требуют высокоточной навигационной поддержки. Совместное использование трех больших антенн в Уссурийске, Медвежьих озерах и в Евпатории могло бы существенно расширить возможности баллистического обеспечения этих проектов.

Размеры координатных и скоростных баз

	ΔR км	ΔV м/сек
Уссурийск Мед. Озера	6115	441
Уссурийск Евпатория	6936	506
Евпатория Мед. Озера	1232	71



Использование Евпаторийской антенны в интересах навигационного обеспечения полетов КА

- Измерения текущих навигационных параметров (ИТНП) (Траекторные измерения штатной радиотехнической системы)
- Радиолокация планет
- Проведение измерений на сверхдлинной базе (РСДБ)

Проблема навигационного обеспечения на большом удалении от Земли

Невозможно на протяженном интервале времени обработать измерения и определить орбитальные параметры движения КА в рамках единой модели движения, поскольку реальная траектория, как правило, отличается от пассивной:

- Аппарат выполняет маневры и коррекции траектории
- Работа реактивных двигателей системы ориентации вызывает возмущения в движении центра масс КА
- Если для ориентации используется система электромаховичных исполнительных органов (ЭМИО), то возмущения в движении центра масс возникают в процессе разгрузки ЭМИО
- Ожидается, что перспективные межпланетные аппараты будут оснащены двигателями малой тяги, которые работают (и создают возмущения) на протяжении большей части траектории.

Измерения текущих навигационных параметров (ИТМП) Преимущества использования трех измерительных пунктов

1. Использование траекторных измерений (ИТНП) трех разнесенных измерительных пунктов позволяет определять орбиту по измерениям, проведенным на относительно коротком интервале времени.
2. Используя Евпаторийскую антенну можно получить дополнительные возможности для проведения трехпутевых доплеровских измерений

Возможность одновременного определения положения КА в пространстве за счет использования параллакса

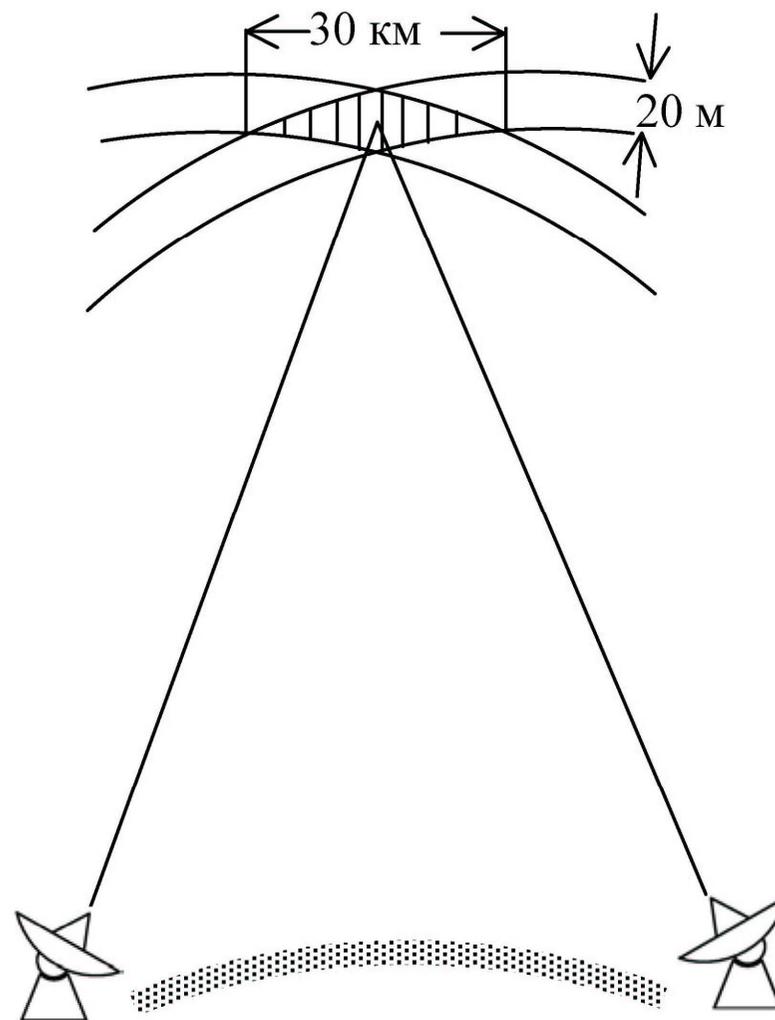
Размеры координатной базы Евпатория – Медвежьи озера (примерно 1000 км).

Расстояние до КА 1 млн. км.

Точности измерений дальности 20 м

При этих условиях

Ошибка одновременного определения положения аппарата будет составлять около 30 км.



Одномоментное определение направления на КА по измерениям радиальной скорости трех антенн

$$\begin{aligned} \dot{D}_1 &\approx (\mathbf{e}, \mathbf{v} - \mathbf{v}_1) & \dot{D}_1 - \dot{D}_3 &\approx (\mathbf{e}, \mathbf{v}_3 - \mathbf{v}_1) \\ \dot{D}_2 &\approx (\mathbf{e}, \mathbf{v} - \mathbf{v}_2) & \dot{D}_2 - \dot{D}_3 &\approx (\mathbf{e}, \mathbf{v}_3 - \mathbf{v}_2) \\ \dot{D}_3 &\approx (\mathbf{e}, \mathbf{v} - \mathbf{v}_3) & e_x^2 + e_y^2 + e_z^2 &= 1 \end{aligned}$$

Разность скоростей Евпатории и Медвежьих озер (наиболее критический параметр) – 70 м

Ошибка измерений радиальной скорости – 1 мм/с

При этих условиях

Точность определения направление на КА – 3 угловых секунды

На расстоянии 1 а.е. это соответствует примерно 2 тыс. км

Более высокую точность можно получить, используя измерения РСДБ

Возможность использования Евпаторийской антенны для проведения радиолокации

Эфемериды планет - DE405, DE421.

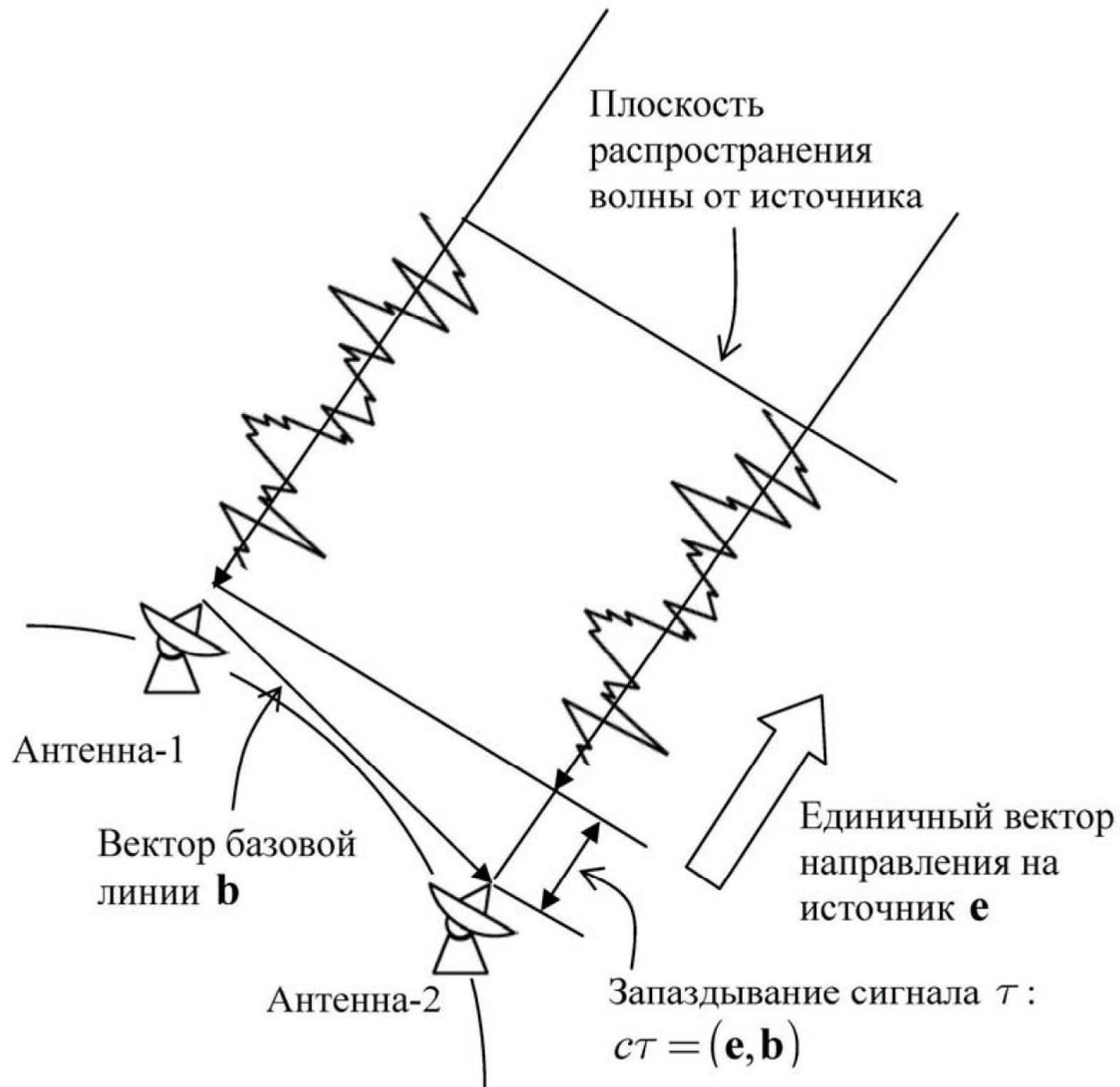
Ошибки относительного положения внутренних планет Солнечной Системы составляет единицы от 1-3 км.

Неточность знания эфемерид в частности Марса и Земли, ограничивает возможности навигационного обеспечения на орбите ИСМ и на ответственных участках траектории может оказаться существенной. Причина:

Положение Марса относительно Земли непосредственно используются при вычислениях и их ошибки искажают расчетные значения измерений дальности

Для измерений дальности ошибки относительного положения Земли и Марса на два порядка превышают ошибки измеренных значений, составляющих 20 м. Это делает невозможным использование измерений дальности на участке ареоцентрического движения КА.

Схема проведения измерений РСДБ



Возможность использование Евпаторийской антенны для проведения измерений РСДБ

Точность современных измерений углового положения аппарата с использованием РСДБ составляет несколько нано радиан (нр).

На расстоянии 1 астрономической единицы ошибка углового положения объекта в 1 нр эквивалентна 150 м ошибки положения аппарата в плоскости, ортогональной линии визирования

Измерения РСДБ в сочетании с измерениями наклонной дальности и радиальной скорости обеспечивают возможность мгновенного определения всех трех компонент вектора положения АМС с точностью единиц км, не ожидая изменения направления линии визирования и накопления измерительной информации на протяженном интервале времени.

Измерения РСДБ позволяют

- Определять параметры орбиты АМС сразу после выполнения маневра по измерениям на очень коротком интервале измерений, для того, чтобы при необходимости исправить ошибки исполнения маневра, используя более точные двигатели меньшей мощности,
- Определять орбиту АМС на коротком интервале измерений, для того, чтобы избежать накопления ошибок модели (ошибки модели нецентрального гравитационного поля планеты, неучтенные микроускорения, вызванные работой двигателей системы ориентации и т.п.)
- Осуществлять навигацию и управления движениям АМС при полетах с использованием двигателей малой тяги.