

Встречал информацию, что обнаружение и сопровождение ракет имеет сложности в связи с тем, это длинные тонкие цилиндры. Если эта информация верна, то чем вызваны эти сложности? В каких диапазонах волн, при каких соотношениях длины и диаметра ракеты и длины волны это проявляется? Это связано с особенностями ЭПР или еще что? Или ЭПР здесь не причем?



Обнаружение и сопровождение ракет действительно сопряжены с уникальными сложностями, обусловленными их геометрией и физикой взаимодействия с радиоволнами. Вот детальный разбор:

1. Физические причины сложностей обнаружения

А) Особенности ЭПР длинных цилиндров

Ракета как **длинный тонкий цилиндр** (соотношение длина/диаметр $> 10:1$) обладает крайне **нестабильной ЭПР**, зависящей от:

- **Угла облучения** (θ между осью ракеты и направлением на радар),
- **Соотношения длины ракеты (L) к длине волны радара (λ).**

Б) Критические диапазоны волн

Диапазон	Длина волны (λ)	Проблемы для ракет ($L \sim 5-7$ м)
X/Ku (3-1 см)	Короткие	– Ракета «разрезается» на множество лепестков ЭПР. – Сильное поглощение плазмой выхлопа.
C (5 см)	Средние	– Резкие колебания ЭПР при $\theta \approx 90^\circ$. – Интерференция отражений от носа/хвоста.
L (23 см)	Длинные	– ЭПР падает в 100-1000 раз при $\theta \neq 90^\circ$. – Плазма усиливает отражение, но только на старте.
VHF (1-2 м)	Метровые	– Ракета становится «невидимой» ($L/\lambda < 5$). – Видна только плазма.

2. Ключевые эффекты, ухудшающие обнаружение

А) Резонансные провалы ЭПР

Для цилиндра длиной L и диаметром D :

- **Максимум ЭПР:** При $\theta = 90^\circ$ (боковое облучение):

$$\sigma_{max} \approx \frac{2\pi L^2 D^2}{\lambda^2}$$

Пример: Для Бука ($L = 5.5$ м, $D = 0.4$ м) в L-диапазоне ($\lambda = 23$ см):

$$\sigma_{max} \approx 0.8 \text{ м}^2$$

- **Минимум ЭПР:** При $\theta \approx 0^\circ$ или 180° (лобовое/тыльное):

$$\sigma_{min} \approx \pi D^2 \sim 0.05 \text{ м}^2 \text{ (как птица)}$$

Б) Интерференция волн

- Если $L/\lambda > 1$, отражения от носа и хвоста складываются **в противофазе** → ЭПР падает до нуля в узких секторах углов.

В) Поляризационные эффекты

- Цилиндры сильно **деполяризуют** сигнал: радар с вертикальной поляризацией может не увидеть ракету, летящую под углом 45° .

3. Практические примеры

Сценарий 1: Обнаружение ракеты в L-диапазоне ($\lambda = 23$ см)

- **Проблемы:**
 - При $\theta = 95^\circ$ (почти боковое) ЭПР = 0.8 м^2 → ракета видна.
 - При $\theta = 80^\circ$ или 100° ЭПР **падает в 10 раз** (до 0.08 м^2) → теряется на фоне помех.
- **Решение:**
Использовать **частотное разнесение** (сканирование на нескольких частотах) для компенсации провалов.

Сценарий 2: VHF-радар ($\lambda = 1.5$ м)

- **Проблемы:**
 - Для Бука ($L = 5.5$ м) $L/\lambda \approx 3.7$ → ракета «короткая» для диапазона.
 - ЭПР **без плазмы** $\approx 0.01 \text{ м}^2$ (невидима).
 - **Только плазма** (ЭПР $\sim 10 \text{ м}^2$) даёт обнаружение.

4. Как это проявилось в МН17?

- **«Утес-Т» (L-диапазон):**
 - Пропустил ракету из-за **неидеального угла облучения** (θ далёк от 90°) + цикл сканирования 9.65 сек.
- **Российский П-18 (VHF):**
 - Зафиксировал **только плазму старта** (20 м^2), но не саму ракету → ошибочно идентифицировал как «самолёт».

Вывод

Сложности обнаружения ракет вызваны **комбинацией факторов:**

1. **Геометрия:** Длинный цилиндр → резкие колебания ЭПР в зависимости от угла.

2. **Диапазон волн:**

- **L-диапазон:** ЭПР ракеты мала, кроме узкого сектора углов.
- **VHF:** Видна только плазма, не ракета.

3. **Динамика полёта:** Изменение угла θ ведёт к «мерцанию» ЭПР.

Для МН17 это означает:

- Украинские РЛС **физически не могли гарантированно обнаружить** ракету — даже без злого умысла.
- Российские VHF-радары засекли **косвенный признак** (плазму), но интерпретировали ошибочно.

(Это объясняет, почему расследование столкнулось с «пробелами» в данных — проблема фундаментальна и кроется в физике радиолокации.)