

А Buk Telar может обнаружить сбоку ракету с другого Buk Telar на расстоянии 15-25 км?

Отличный и очень конкретный тактический вопрос. Ответ — да, теоретически может, но на практике это чрезвычайно маловероятно и не является штатной задачей для систем "Бук". Давайте разберём по физике и тактике.

Исходные данные:

- **Цель:** Ракета 9М38 (или 9М38М1). ЭПР в самой выгодной **боковой проекции** по вашим данным: $\sigma \approx 3.3 \text{ м}^2$ (**медианное**).
- **Обнаруживающая РЛС:** РЛС 9С35 (в составе СПУ 9А310М1 "Бук-М1") или аналогичная в более новых модификациях. Работает в **Н-диапазоне (8-12 ГГц, $\lambda \approx 3 \text{ см}$)**. Узкий луч, высокая точность.
- **Дальность:** 15-25 км.

1. Энергетический расчёт: "Светит" ли ракета?

Упрощённая оценка по уравнению дальности. Возьмём типовые параметры для РЛС подсвета/сопровождения ЗРК "Бук":

- **Импульсная мощность (P_и):** ~40 кВт (для 9С35).
- **КНД антенны (G):** ~3000-5000 (35-37 дБ) — очень узкий луч.
- **Чувствительность (P_{min}):** ~10⁽⁻¹⁴⁾...10⁽⁻¹³⁾ Вт.
- $\sigma = 3.3 \text{ м}^2$
- $R = 25 \text{ км}$.

$$R_{\text{max}}^4 \propto (P_{\text{и}} * G^2 * \sigma) / P_{\text{min}}$$

Даже при консервативных оценках **теоретическая дальность обнаружения такой цели составляет 50-80 км**. На 25 км сигнал будет очень мощным, с огромным запасом. **С точки зрения энергии — ракета прекрасно "видна"**.

2. Так почему же это практически нереально? Ключевые ограничения.

А. Временной фактор (ГЛАВНОЕ ПРЕПЯТСТВИЕ)

- **Скорость ракеты:** ~1000 м/с (3 Маха).
- **Дистанция обнаружения сбоку:** 15-25 км.
- **Время нахождения в лучах радара:**

РЛС "Бук" имеет **узкий лучевой веер** (по азимуту ~1°, по углу места несколько градусов). Чтобы обнаружить цель, луч должен быть на неё направлен.

- При боковом пролёте относительно позиции радара, ракета пересекает луч **за секунды**.
- **Пример:** Если ширина луча на дистанции 20 км составляет ~350 метров, а ракета летит поперёк луча со скоростью 1000 м/с, то время её нахождения в луче $t \approx 350 \text{ м} / 1000 \text{ м/с} = 0.35 \text{ секунды}$.

За это время РЛС должна:

1. Успеть сделать несколько зондирующих импульсов (частота повторения ~1-10 кГц, т.е. это возможно).
2. Обработать сигнал, выделить цель на фоне земли и помех.
3. **Взять цель на автоматическое сопровождение (АС).**

Проблема: Взять на АС быстропроходящую, слабоконтрастную (на фоне земли) цель за **десятые доли секунды** — задача на пределе возможностей даже современных систем. Стандартные алгоритмы настроены на более медленные цели (самолёты) и требуют нескольких циклов обзора для подтверждения траектории.

Б. Фоновая помеха (от земли)

- РЛС "Бук" при работе по низковысотным целям борется с мощными отражениями от земли (пассивные помехи). Система СДЦ (селекции движущихся целей) настроена на определённый диапазон радиальных скоростей.
- При **боковом пролёте** ракеты её **радиальная скорость относительно радара БЛИЗКА К НУЛЮ**. Это **наихудший случай** для доплеровских СДЦ. Сигнал от ракеты будет подавлен фильтрами СДЦ вместе с отражениями от неподвижного грунта. Чтобы его выделить, нужен режим "пеленгации по moving target detector" (МТД) или "по неподвижным целям", что резко снижает помехозащищённость.

В. Тактический контекст и режимы работы РЛС

- РЛС ЗРК "Бук" в боевом режиме **не вешает круговой обзор**. Она работает в секторном режиме, сканируя узкий сектор пространства, куда наведена системой целеуказания (от командного пункта или своей РЛС обнаружения 9С18 "Купол"). **Направить луч точно на приближающуюся сбоку ракету другого "Бука" — значит обладать досрочной информацией о её пуске и траектории, что маловероятно.**
- Основная задача РЛС сопровождения — **подсвет цели, по которой уже пущена своя ракета**. Она сфокусирована на одной цели, а не ищет новые.

Г. ЭПР может быть и не 3.3 м²

- В реальности, если ракета летит не строго поперёк луча, а под каким-то углом, её ЭПР будет меньше. В самом неблагоприятном случае (носовая проекция) — всего **0.3 м²**. На фоне земли и с учётом СДЦ такая цель почти необнаружима.

3. А если бы специально искали?

Если бы оператор знал о пуске и навёл луч РЛС сопровождения "Бук" в упреждённую точку пространства и перевёл её в режим поиска в узком секторе, то **обнаружение, вероятно, было бы возможно на дистанции 15-25 км**. Сигнал был бы сильным. Но даже в этом случае:

1. Время на реакцию исчислялось бы **секундами**.
2. Для поражения нужно было бы успеть запустить свою ракету, навести её, что при таком времени невозможно.

Итоговый ответ:

Теоретически (по энергетике радара) — ДА, РЛС "Бук" способна обнаружить ракету 9М38 сбоку на 15-25 км.

Практически (с учётом времени, работы СДЦ, тактического контекста) — НЕТ, такое обнаружение в реальном бою является практически невероятным событием.

- Ракета слишком быстро пересекает луч.

- Её радиальная скорость мала, что делает её невидимой для стандартных фильтров СДЦ на фоне земли.
- РЛС в этот момент решает другие задачи (сопровождение своей цели).
- Даже если обнаружение произойдёт, времени для какой-либо реакции (не говоря уже о поражении) не остаётся.

Таким образом, расчёт на то, что один "Бук" сможет сбить ракету, выпущенную другим "Буком", с рабочей дистанции в 15-25 км, **не имеет тактического смысла и не закладывался в концепцию применения комплекса**. Это сценарий из области теоретической радиофизики, а не реальной войсковой операции.



File

Shared files can't be displayed

Это данные радара. Он работал в режиме поиска, то есть сектор 120x6 градусов осматривал за 4 секунды. Осмотр сектора радар делает перемещением луча справа-налево, потом поднимает луч и перемещает его слева-направо и так всего 5 строк, пока не достигнет высоты 6 градусов в левом верхнем углу сектора. Потом возвращает луч в правый нижний угол и начинает новый цикл обзора.

Другой Бук находился на расстоянии 22,5 км. На этом расстоянии радар первого Бука в режиме обзора 0-6 градусов по высоте осматривает небо до высоты 2,4 км.

Ракета второго Бука взлетела в плоскости, примерно перпендикулярной лучу первого радара, взлетела под углом 45 градусов и превысила высоту обзора 2,4 км примерно через 6-7 секунд (учтено, что ракета стартует с ноля, а максимальную скорость набирает только через 16-17 секунд).

Она находилась в поле зрения первого радара почти с самого старта. Какова вероятность обнаружения этой ракеты при допуске, что ЭПР достаточна?

Это гениально конкретизированная постановка задачи. Теперь мы можем дать количественную оценку вероятности обнаружения ($P_{\text{обн}}$) с учётом всех временных, пространственных и энергетических параметров.

Для ответа необходимо последовательно оценить несколько ключевых факторов. Будем считать, что **энергетический потенциал достаточен** (сигнал/шум > пороговый), так как ЭПР=3.3 м², а дальность всего 22.5 км.

Шаг 1. Определяем "окно возможности" для обнаружения

1. **Время набора высоты 2.4 км:** Вы указали **6-7 секунд**. Возьмем $t_{\text{окно}} = 6.5 \text{ с}$ — это максимальное время, в течение которого ракета находится в зоне обзора по углу места ($0-6^\circ$).
 2. **Начальные условия:** Ракета стартует с земли ($h=0$) и, взлетая под 45° , находится в зоне обзора **практически сразу** после старта. Значит, всё время $t_{\text{окно}}$ она освещается радаром в принципе (луч проходит через её сектор пространства).
-

Шаг 2. Анализируем цикл обзора радара ($120^\circ \times 6^\circ$ за 4 с)

Ваше описание соответствует **строчно-столбцовому методу обзора (raster scan)**.

- **Полный цикл (кадр):** 4 секунды.
- **Угол места:** 6° разбивается на, предположительно, **5 строк** (т.к. ширина луча по углу места 2° , а для покрытия 6° нужно 3 луча, но с перекрытием — 5 строк логично).
- **Азимут:** 120° сканируется построчно. Ширина луча по азимуту в режиме обзора 1.15° . Для покрытия 120° без перекрытия нужно ~ 104 позиции луча, с перекрытием — больше.

Ключевой параметр для вероятности: Время облучения цели за один цикл (кадр) — $t_{\text{обл}}$.

Оценим $t_{\text{обл}}$:

- Полное время цикла $T_{\text{кадр}} = 4 \text{ с}$.
- За это время луч должен посетить все N положений в азимуте и угле места.
- **Время нахождения луча в одной фиксированной позиции (время интегрирования) очень мало.** Оценим его косвенно.

Общее число позиций луча: $N \approx (120^\circ / 1.15^\circ) * (6^\circ / 2^\circ) * k_{\text{перекр}} \approx 104 * 3 * 1.5 \approx 468$ позиций.

Тогда время на одну позицию: $t_{\text{поз}} = T_{\text{кадр}} / N = 4 / 468 \approx 0.00855 \text{ с}$ (8.55 мс).

Это время, в течение которого луч **задерживается**, облучая конкретный азимут и угол места. **Именно это время $t_{\text{поз}}$ является временем облучения цели ($t_{\text{обл}}$), если цель находится в этой позиции луча.**

Шаг 3. Определяем вероятность, что луч попадёт на цель в течение одного кадра

Это геометрическая вероятность.

1. **Условие по углу места:** Цель находится в секторе $0-6^\circ$ всё время $t_{\text{окно}}$.

Ширина луча по углу места 2° . Значит, на каждом проходе по азимуту одна из строчек (одна из 5) будет покрывать цель. **Вероятность попадания цели в луч по углу места за один проход азимута $P_{\text{верт}} \approx 1$** (так как мы знаем, что она в зоне, и строки последовательно её покрывают).

2. **Условие по азимуту:** Это основная неопределённость.

- Ширина луча по азимуту: 1.15° .
- Сектор обзора по азимуту: 120° .
- Ракета находится в **фиксированном азимуте** (примерно перпендикулярно лучу, т.е. где-то внутри этого 120° сектора).
- При каждом проходе строки луч последовательно занимает дискретные позиции по азимуту с шагом $\sim 1^\circ$.
- **Вероятность того, что в конкретный проход строки луч окажется в том азимутальном положении, где находится цель:**
 $P_{\text{азим}} \approx \text{Ширина_луча} / \text{Шаг_сканирования} \approx 1.15^\circ / 1.15^\circ = 1$ (при точном совпадении шага и ширины луча). На практике есть перекрытие, поэтому вероятность близка к 1 для цели с нулевой азимутальной скоростью.

Важный вывод: При **нулевой азимутальной скорости цели** (ракета летит прямо от/к позиции второго "Бука", т.е. перпендикулярно лучу первого), её азимут относительно первого радара **не меняется**. Следовательно, если она попала в азимутальную ячейку луча в начале подъёма, она будет в ней всё время $t_{\text{окно}}$.

Геометрическая вероятность обнаружения в течение кадра близка к 100%, если не учитывать временные ограничения.

Шаг 4. Учитываем временной фактор (самый критический!)

Обнаружение требует, чтобы цель находилась в луче **достаточное время** для обработки. Это время определяется:

1. **Время облучения за один проход ($t_{\text{обл}} = 8.55$ мс).**
2. **Необходимое количество импульсов для достоверного обнаружения.** Для надёжного выделения цели на фоне помех и подтверждения траектории типичная цифра — $M = 5-15$ импульсов.
3. **Частота повторения импульсов ($F_{\text{п}}$)** РЛС "Бук" в режиме обзора. Оценочно, для L-диапазона это может быть 1-2 кГц. Возьмем $F_{\text{п}} = 1500$ Гц.
 - Тогда период повторения импульсов: $T_{\text{и}} = 1/1500 \approx 0.667$ мс.
 - За время $t_{\text{обл}} = 8.55$ мс радар успеет излучить и принять $N_{\text{имп}} = t_{\text{обл}} / T_{\text{и}} = 8.55 / 0.667 \approx 12-13$ импульсов. Этого **БОЛЕЕ чем достаточно** ($M < N_{\text{имп}}$).

Вывод по времени: Временные параметры радара **полностью позволяют** за один проход луча получить необходимое количество отражений от цели для её уверенного обнаружения.

Шаг 5. Учёт СДЦ (Селекции Движущихся Целей) — ГЛАВНОЕ ПРЕПЯТСТВИЕ

Как мы уже говорили, это **ключевая проблема**.

- В режиме обзора радар использует **СДЦ для подавления отражений от земли**.
- **Радиальная скорость ракеты относительно первого "Бука" в описанном сценарии БЛИЗКА К НУЛЮ** (она летит перпендикулярно лучу).
- Фильтры СДЦ (режекторные фильтры) **глушат сигналы с нулевой и близкой к нулю доплеровской частотой**. Сигнал от ракеты будет подавлен вместе с помехой от земли.
- Чтобы обнаружить такую цель, радар должен переключиться в режим **обзора по неподвижным целям (режим МТІ с бланкированием неподвижных целей) или использовать особые алгоритмы, что резко снижает помехозащищённость и не является штатным режимом поиска новых целей**.

Вероятность $P_{\text{сдц}}$ того, что в стандартном режиме обзора сигнал от такой цели не будет отфильтрован СДЦ, близка к 0.

Шаг 6. Итоговая вероятностная оценка

Вероятность обнаружения — это произведение вероятностей всех необходимых условий:

$$P_{\text{обн}} = P_{\text{геом}} * P_{\text{время}} * P_{\text{сдц}} * P_{\text{энерг}}$$

- $P_{\text{геом}} \approx 1.0$ (цель в зоне обзора и имеет фиксированный азимут).
- $P_{\text{время}} \approx 1.0$ (время облучения за проход и количество импульсов достаточны).
- $P_{\text{сдц}} \approx 0.01 \dots 0.1$ (очень низкая, из-за нулевой радиальной скорости; оценка экспертная, может быть и ниже).
- $P_{\text{энерг}} \approx 1.0$ (по условию "ЭПР достаточна").

Итоговая оценка: $P_{\text{обн}} \approx 1 * 1 * (0.01 \dots 0.1) * 1 = 0.01 \dots 0.1$.

То есть, 1% - 10%. И это в лучшем случае.

Окончательный ответ:

При заданных идеальных пространственно-временных условиях, но с учётом фундаментального ограничения работы СДЦ, вероятность обнаружения ракеты первым "Буком" в режиме обзора оценивается как крайне низкая — порядка 1-10%.

Фактически, обнаружение маловероятно. Даже если технически радар "увидит" эхо-сигнал, система обработки (фильтры СДЦ), настроенная на отсеив неподвижных и медленных целей на фоне земли, с высокой вероятностью отфильтрует его как помеху. Для уверенного обнаружения такой цели с околонулевой радиальной скоростью требуется специальный, нештатный режим работы радара, который в боевой обстановке при автономной работе применяется крайне редко.

Ваш детальный сценарий лишь подтвердил, что главным врагом обнаружения в данном случае является не энергетика или геометрия, а **доплеровская характеристика цели относительно радара.**