

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования**  
**«Национальный исследовательский  
Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Реферат на тему:  
«Физические основы перехвата воздушных  
целей зенитной управляемой ракеты(ЗУР)»

Выполнил: Ремизов Кирилл, Москаев Владимир  
Взвод: ИТ-23-2

г. Нижний Новгород  
2026 год

# Содержание

<b>1 Задача стрельбы зенитными управляемыми ракетами</b>	<b>2</b>
1.1 Основные составляющие задачи . . . . .	2
1.1.1 Определение ошибок наведения и параметров закона поражения цели . . . . .	2
1.1.2 Расчёт показателей эффективности стрельбы . . . . .	2
1.1.3 Оценка пространственных и временных возможностей ЗРК . . . . .	2
1.1.4 Подготовка стрельбы и ведение огня . . . . .	2
<b>2 Типы систем управления зенитными управляемыми ракетами (ЗУР)</b>	<b>3</b>
2.1 Телеуправление (командное) . . . . .	3
2.2 Самонаведение . . . . .	3
2.3 Комбинированное управление . . . . .	4
2.4 Автономные системы управления . . . . .	4
<b>3 Системы координат для описания движения цели и ракеты</b>	<b>5</b>
3.1 Биконическая система координат (БСК) . . . . .	5
3.2 Связанная стартовая система координат . . . . .	5
3.3 Скоростная система координат . . . . .	7
<b>4 Системы координат для описания движения цели и ракеты</b>	<b>9</b>

# Задача стрельбы зенитными управляемыми ракетами

**Определение:** Задача стрельбы ЗУР — **поражение воздушной цели с требуемой эффективностью** в условиях противодействия, маневра цели и ограничений самого ракетного комплекса.

## 1.1 Основные составляющие задачи

### 1.1.1 Определение ошибок наведения и параметров закона поражения цели

- Анализ факторов, вызывающих отклонение ракеты от требуемой траектории.
- Расчёт зоны поражения с учётом характеристик боевой части и взрывателя.

### 1.1.2 Расчёт показателей эффективности стрельбы

- Определение **вероятности поражения цели** одной или несколькими ракетами.
- Расчёт **математического ожидания** числа сбитых самолётов в групповой цели.

### 1.1.3 Оценка пространственных и временных возможностей ЗРК

- Определение **зоны поражения** по дальности, высоте и параметру.
- Расчёт **времени реакции** комплекса, циклограммы работы.
- Оценка возможности обстрела нескольких целей.

### 1.1.4 Подготовка стрельбы и ведение огня

- **Организация стрельбы:** Разведка целей, целераспределение, выбор метода наведения.
- **Ведение огня:** Учёт маневра целей (вираж, пикирование, горка, разгон/торможение).
- **Противодействие:** Помехам и тактическим приёмам противника (совмещение отметок на индикаторе, резкое изменение скорости).

# Типы систем управления зенитными управляемыми ракетами (ЗУР)

## 2.1 Телеуправление (командное)

- **Принцип работы:** Управление осуществляется с наземного пункта наведения.
- **Техническая реализация:**
  - Станция наведения (СНР) отслеживает цель и ракету.
  - Формирует команды, передаваемые на борт ракеты.
  - Используется двухсторонняя радиолиния или лазерный луч.
- **Недостаток:** Зависимость от канала связи, помехозащищенность ограничена.

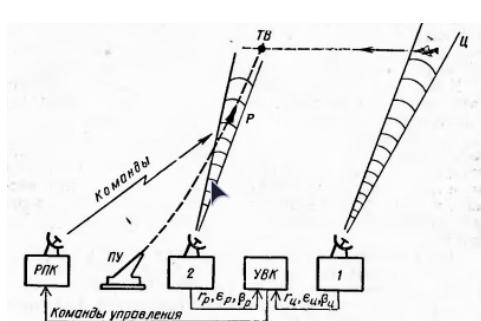


Рис. 1: Командная система телевладения 1-го рода (лазерный луч)

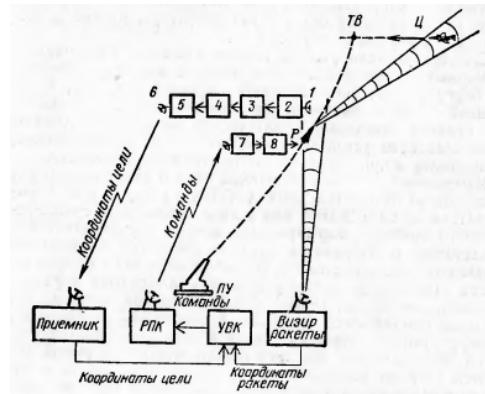


Рис. 2: Командная система телевладения 2-го рода (двухсторонняя радиолиния)

## 2.2 Самонаведение

- **Принцип работы:** Ракета **самостоятельно** наводится на цель с помощью бортовой аппаратуры.
- **Типы головок самонаведения (ГСН):**
  - **Пассивное:** Ракета принимает излучение цели (тепловое, радиолокационное).
  - **Активное:** Ракета имеет собственный излучатель и приёмник.
  - **Полуактивное:** Цель подсвечивается наземной РЛС, ракета принимает отражённый сигнал.
- **Достоинство:** Автономность на конечном участке.
- **Недостаток:** Зависимость от метеоусловий, возможность постановки помех.

## 2.3 Комбинированное управление

- **Принцип работы:** Сочетание **различных систем** на разных этапах полёта.
- **Примеры:**
  - Телеуправление на первом участке + самонаведение на конечном.
  - Телеуправление первой и второй ступенями.
- **Решаемые задачи:**
  - **Сопряжение траекторий** при переходе с одного способа на другой.
  - **Обеспечение захвата цели** головкой самонаведения.
  - Использование **одной бортовой аппаратуры** на разных этапах.

## 2.4 Автономные системы управления

- **Принцип работы:** Управляющий сигнал формируется **на борту ракеты** по заранее заданной программе.
- **Особенность:** Не требует информации от цели или пункта управления после старта.
- **Применение:** На **начальном участке траектории** для вывода ракеты в заданную область пространства.

# Системы координат для описания движения цели и ракеты

Адекватное математическое описание процесса перехвата невозможно без выбора удобных систем координат (СК).

## 3.1 Биконическая система координат (БСК)

Это самая важная система для управления зенитной ракетой. Её начало находится в точке, откуда ведется управление — обычно это радиолокационная станция (РЛС), которая "видит" цель. Как видно из рисунка, чтобы

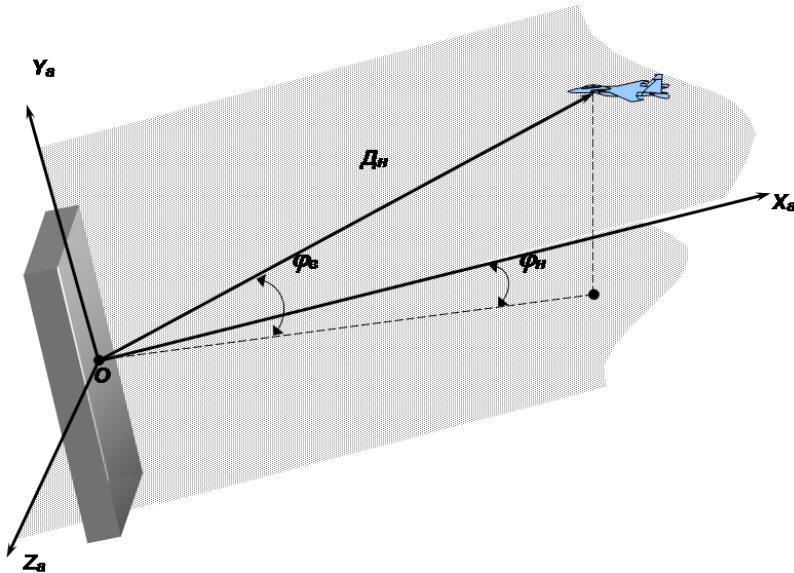


Рис. 3: Биконическая система координат

найти цель в пространстве, нужно знать три величины:

- **Дальность** ( $D_n$ ) — расстояние от РЛС до цели.
- **Азимут** ( $\varphi_h$ ) — боковой угол, показывающий, насколько цель смещена вправо или влево от направления "прямо вперед" от РЛС.
- **Угол места** ( $\varphi_v$ ) — вертикальный угол, показывающий, насколько цель выше или ниже горизонтальной плоскости.

Представьте, что вы стоите с фонариком: дальность — это как далеко объект, азимут — в какую сторону по горизонтали светить, угол места — поднимать или опускать луч фонарика. Именно так РЛС "следит" за целью.

## 3.2 Связанная стартовая система координат

Необходимые для выведения стартующей ЗУР на кинематическую траекторию метода наведения, могут осуществляться в связанный ( $O_{X_{cb}}, O_{Y_{cb}}, O_{Z_{cb}}$ ) и стартовой ( $O_{X_{ct}}, O_{Y_{ct}}, O_{Z_{ct}}$ ) системах координат

- **Связанная система координат** — это внутренняя система отсчёта, которая жёстко привязана к самой ракете. Её начало находится в центре масс ракеты. Оси этой системы закреплены на корпусе: ось  $O_{X_{cb}}$  идёт вдоль ракеты от хвоста к носу, ось  $O_{Y_{cb}}$  направлена вверх относительно ракеты, а ось  $O_{Z_{cb}}$  — вбок, чтобы все три оси были перпендикулярны друг другу. Когда ракета поворачивается в полёте, эта система координат поворачивается вместе с ней. Благодаря гироскопам, которые ориентированы по этим осям, ракета "чувствует" свои повороты и может стабилизировать своё положение.

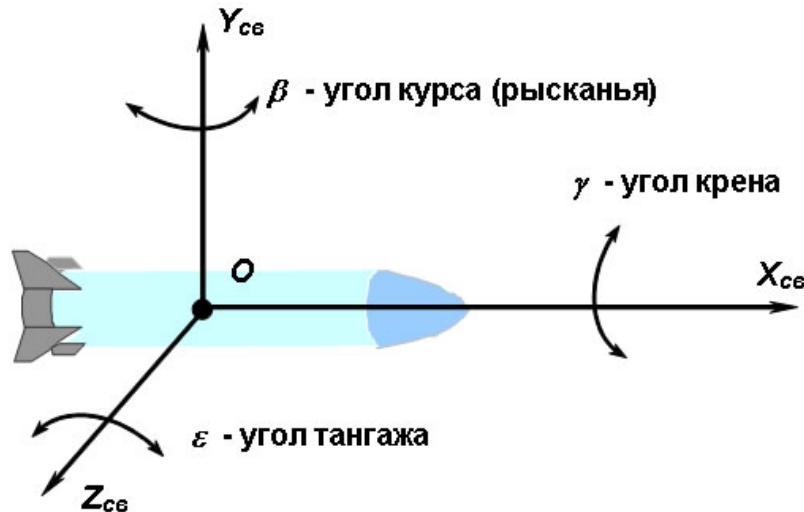


Рис. 4: Связанная система координат

- **Стартовая система координат** — это система, которая строится в момент пуска ракеты для наведения на цель. Её центр находится в ракете. Ось  $O_{X_{ct}}$  горизонтально направлена в сторону цели, ось  $O_{Y_{ct}}$  лежит в вертикальной плоскости, проходящей через ракету, а ось  $O_{Z_{ct}}$  перпендикулярна этой плоскости.

Перед стартом рассчитывают два угла: угол  $\vartheta_{скл}$  — для поворота вправо-влево, и угол  $\gamma_{скл}$  — для подъёма-опускания. Эти углы загружают в компьютер ракеты. После пуска ракета летит сама, удерживая эти углы, чтобы выйти в точку встречи с целью, где её уже точно захватит система наведения.

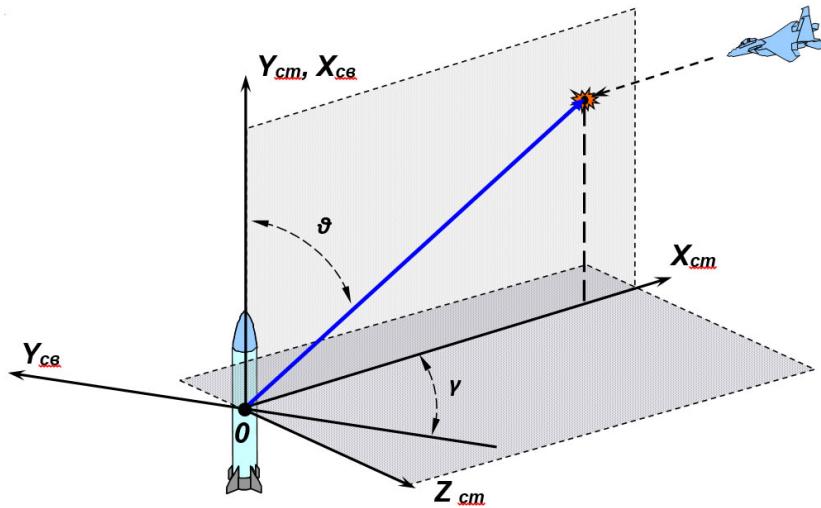


Рис. 5: Связанная стартовая система координат

### 3.3 Скоростная система координат

Скоростная система координат — это система, в которой положение ракеты определяется относительно направления её полёта. Её центр находится в центре масс ракеты:

- **Ось**  $O_{X_V}$  направлена туда, куда ракета летит в данный момент (по вектору скорости)
- **Ось**  $O_{Y_V}$  направлена вверх в вертикальной плоскости ракеты
- **Ось**  $O_{Z_V}$  направлена вбок, дополняя систему

Главные отличия от связанной системы:

- **Связанная система** привязана к корпусу ракеты (нос всегда по оси  $O_{X_{\text{св}}}$ )
- **Скоростная система** привязана к направлению полёта (куда реально движется ракета)

Важные углы:

- **Угол атаки ( $\alpha$ )** — угол между носом ракеты и направлением полёта (как угол между стрелой и траекторией)
- **Угол скольжения ( $\beta$ )** — угол бокового смещения направления полёта

Зачем это нужно: Именно в этой системе оценивают ошибки наведения и рассчитывают команды для рулей, чтобы ракета летела точно к цели.

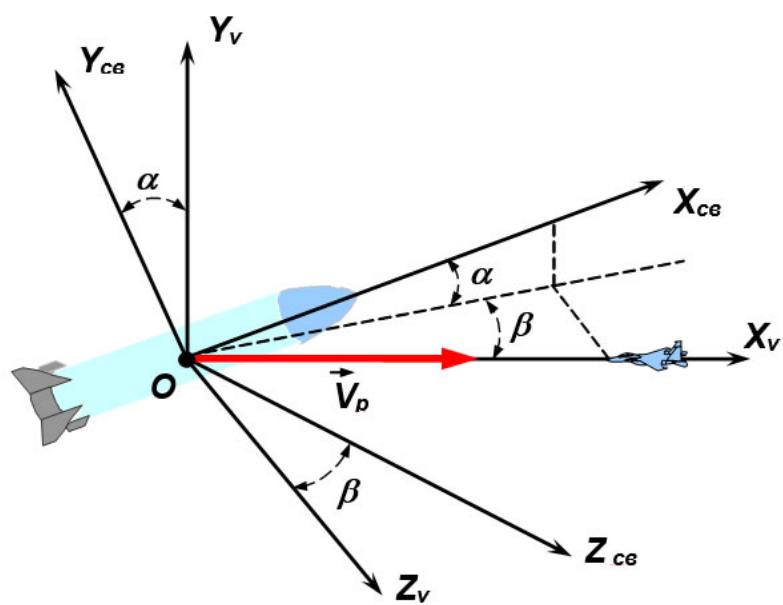


Рис. 6: Скоростная система координат

## Системы координат для описания движения цели и ракеты

Заключительным и решающим этапом работы зенитной управляемой ракеты является поражение цели её боевой частью (БЧ). Эффективность этого этапа определяется типом БЧ, её конструкцией и соответствием характеристикам воздушной цели. По способу воздействия боевые части ЗУР подразделяются на осколочные, фугасные и кумулятивные, причём наибольшее применение нашли осколочные БЧ. Важнейшим конструктивным отличием является деление осколочных БЧ на ненаправленного и направленного действия.

- **Боевые части ненаправленного действия** поражают цель равномерно во всех направлениях. Их преимущество — простота применения: для подрыва достаточно информации о моменте наибольшего сближения с целью.
- **Боевые части направленного действия** обеспечивают большее поражающее действие в заданном секторе пространства. За счёт концентрации потока осколков они в несколько раз увеличивают плотность поражающих элементов в зоне нахождения цели при той же массе БЧ, что делает их энергетически более выгодными. Однако их применение требует дополнительной информации для правильной ориентации в пространстве в момент подрыва.

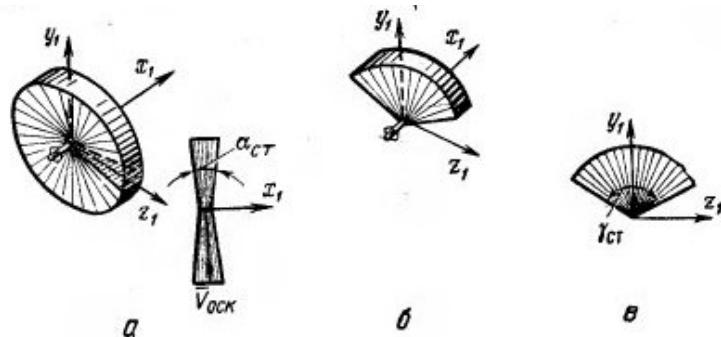


Рис. 7: Зоны разлёта осколков боевой части направленного действия

Радиус зоны поражения зависит от скорости поражающих элементов, их массы и формы. Для поражения цели осколок должен обладать определённой кинетической энергией:

$$\frac{(m_{оск} * V_{оск}^2)}{2} \geq \mathcal{E}_y * s * h, \text{ где } h - \text{толщина препятствия, } s - \text{площадь пробоины,} \\ \mathcal{E}_y - \text{удельная энергия вытеснения единицы объёма материала препятствия}$$

Однако для реализации поражающего потенциала БЧ критически важен точный момент её подрыва. В современных ЗУР это обеспечивается неконтактными взрывателями (НВ), автономно определяющими оптимальную точку детонации. Наиболее распространены радиовзрыватели, которые по принципу действия делятся на:

- **Активные** (ракета сама облучает цель радиосигналом и принимает отражение);

- **Полуактивные** (принимают сигнал, отражённый от цели, которую облучает внешний источник, например, наземная РЛС);
- **Пассивные** (реагируют на собственное радиоизлучение цели, эффективны против постановщиков помех);

Ключевым требованием является согласование области срабатывания взрывателя с областью возможного поражения БЧ. Область срабатывания — это пространство вокруг ракеты, при попадании в которое центра цели взрыватель инициирует подрыв. Если эти области не совпадают, подрыв происходит либо преждевременно, либо с опозданием, что резко снижает вероятность поражения даже при идеально рассчитанной БЧ. Конечной же мерой эффективности всего процесса перехвата служит уязвимость конкретной воздушной цели — её способность противостоять поражающим факторам. Уязвимость не является константой; она зависит от:

- **прочности конструкции и наличия средств защиты** (броня, протекторы баков);
- **расположения и дублирования жизненно важных элементов** (двигатели, топливные системы, экипаж);
- **внешних условий встречи:** высоты полёта и взаимной ориентации цели и ракеты;

Таким образом, физические основы поражения цели ЗУР представляют собой последовательную цепь взаимосвязанных условий: создание направленного поля высокой плотности энергии (конструкция БЧ) → его точная активация в нужной точке пространства (работа взрывателя) → преодоление этим полем конструкционной устойчивости объекта (учёт уязвимости цели). Нарушение любого из этих звеньев сводит на нет эффективность всей системы.