

**МГТУ им. Н.Э Баумана. Военный институт  
Кафедра №1 Военно-воздушных сил**

# **Тема №2: Основы построения ЗРК**

**Автор: ВрИО начальника цикла ЗРВ ВВС, старший преподаватель  
подполковник Фролов А.Е.**



# Занятие №3: Основы стрельбы ЗУР





## **Учебные вопросы:**

- 1. Системы управления ЗУР**
- 2. Методы наведения ЗУР**
- 3. Зоны поражения и пуска ЗРК**
- 4. Цикл стрельбы и его составляющие**

---

вопрос №1

Системы

управления ЗУР



Под **системой управления ЗУР** понимается совокупность устройств, определяющих положение ракеты и цели, вырабатывающих команды управления и наведения ракеты на цель в течение всего времени полета до встречи с целью.

- К системам управления ЗУР предъявляются
- следующие требования:
  - высокая точность наведения;
  - высокая разрешающая способность;
  - возможно большие диапазоны стрельбы
  - по дальности, азимуту и углу места;
  - высокая помехозащищенность;
  - высокая надежность;
  - малые масса и габариты;
  - невысокие сложность и стоимость аппаратуры,
  - в первую очередь той, которая расположена на ракете.

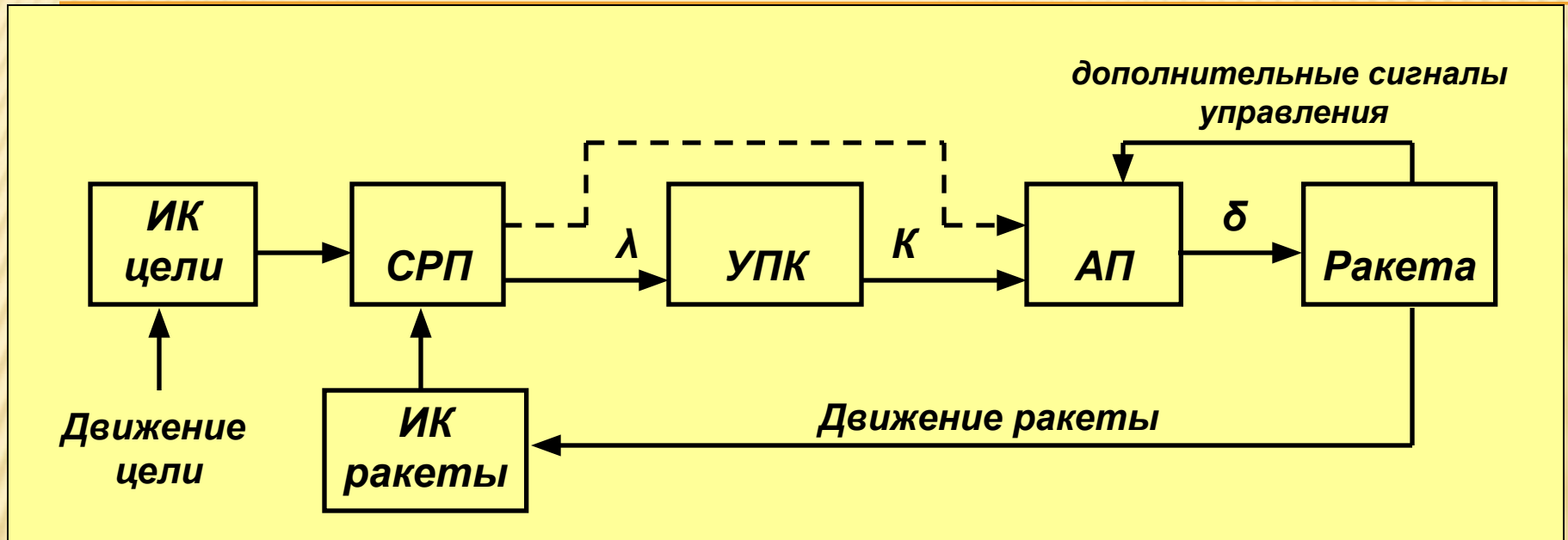


Рис. 1.1. Структурная схема системы

управления

Любая система управления ракетой в общем случае включает в себя:

- измеритель текущих координат ракеты и цели (**ИК**);
- счетно-решающий прибор (**СРП**) – устройство определения параметра и выработки команд управления;
- устройство передачи команд (**УПК**);
- автопилот (**АП**);
- **ракету** – объект регулирования.

**Классифицировать системы управления можно по разным признакам (целевому назначению, принадлежности к роду войск, конструктивному выполнению и т.д.). Однако основным признаком классификации следует считать место расположения основной аппаратуры системы.**

- **Системы**
- **управления**
  - **автономные**
  - **Командные**
    - **ТУ-I**
    - **ТУ-II**
  - **Телена-**
  - **ведение**
    - **Одно-**
    - **лучевые**
    - **Дву-**
    - **лучевые**
  - **Само-**
  - **наведение**
    - **активные**
    - **Полу-**
    - **активные**
    - **пассивные**
  - **Комбини-**
  - **рованные**

**Автономные системы** – это такие системы, у которых вся аппаратура, обеспечивающая наведение ракеты на цель, находится на борту ракеты и ее функционирование не зависит от сигналов, поступающих извне. Другими словами, в автономной системе программа полета ракеты заранее (до ее старта) заложена в бортовой аппаратуре и не может корректироваться в процессе полета.

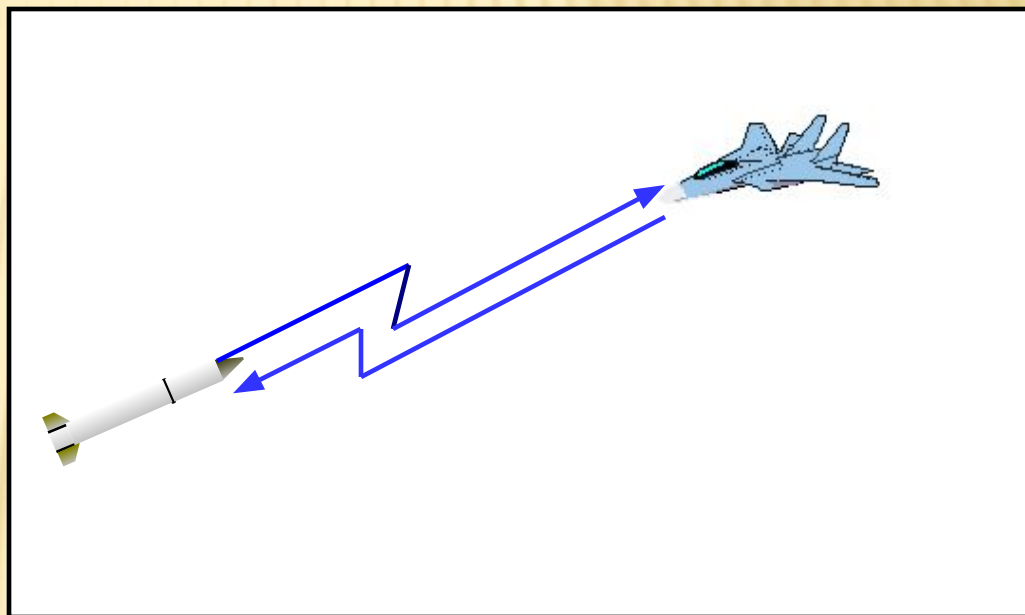
**Системы самонаведения** – это такие системы, в которых команды управления полетом ракеты вырабатываются на ее борту в результате обработки сигналов, излучаемых или отраженных от цели.

Аппаратурная реализация системы самонаведения предполагает наличие на борту ракеты устройства, обеспечивающего автоматическое сопровождение цели, в результате чего определяется угловое положение цели относительно ракеты. Таким устройством является головка самонаведения, основным элементом которой - координатор цели.



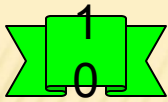
По месту расположения источника используемой энергии системы самонаведения подразделяются на **активные, полуактивные и пассивные.**

**В активных системах самонаведения** ракета облучает цель своим источником энергии, которая, отражаясь от цели, принимается бортовым приемником ракеты и используется для формирования команд управления полетом ракеты



**Достоинством является полная автономность работы системы после пуска ракеты.**

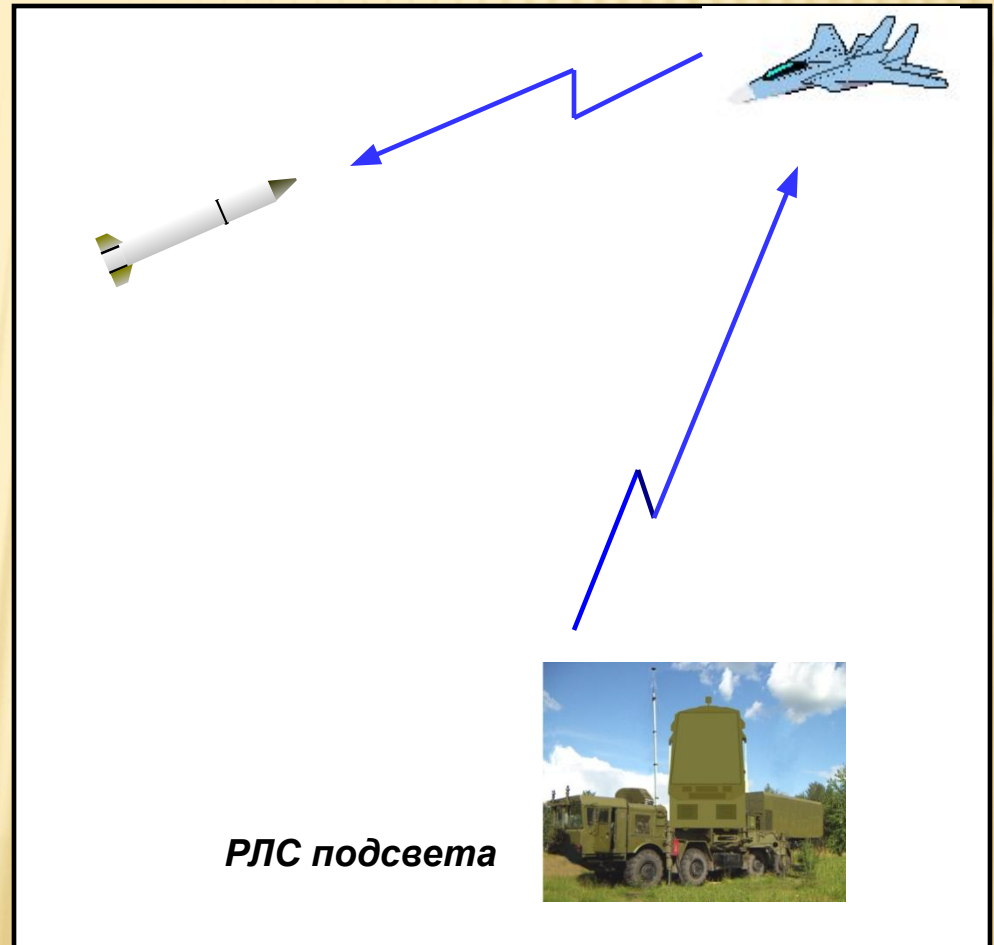
**Недостатки: сложность бортового оборудования ракеты и сравнительно малая дальность действия.**



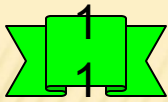
# 1 СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗУР

## полуактивные системы самонаведения

При полуактивном самонаведении передатчик размещается не на борту ракеты, а вне ее, следовательно, может иметь большую мощность и располагаться на большом удалении от цели. На борту ракеты устанавливается только приемное устройство. Дальность действия радиолокационных полуактивных систем самонаведения значительно больше, чем активных.





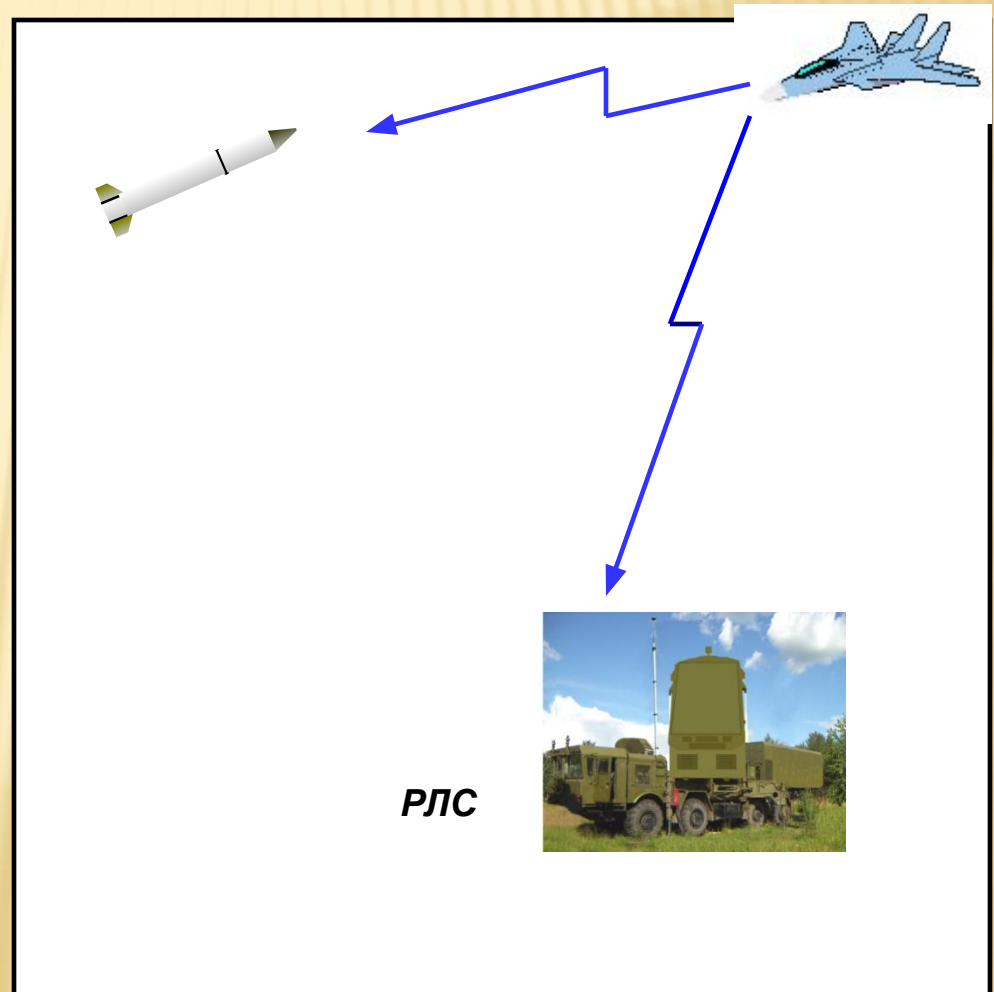


# 1 СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗУР

## пассивные системы самонаведения

При пассивном самонаведении ракета наводится на цель, которая является источником излучаемой энергии. На борту ракеты необходимо иметь только приемное устройство для приема излучаемых целью сигналов, а передатчик для облучения цели не требуется.

Важнейшее преимущество – отсутствие собственных излучений, что способствует скрытности ее работы и обеспечивает маскировку применения.



## 1 СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗУР

**Системы теленаведения** - это системы, в которых сигналы управления полетом ракеты формируются на борту ракеты по данным измерения ее отклонения от ориентированных в пространстве лучей, формируемых на пункте наведения.

За ориентированную в пространстве линию принимают РСН, которое получается при коническом сканировании диаграммы направленности.

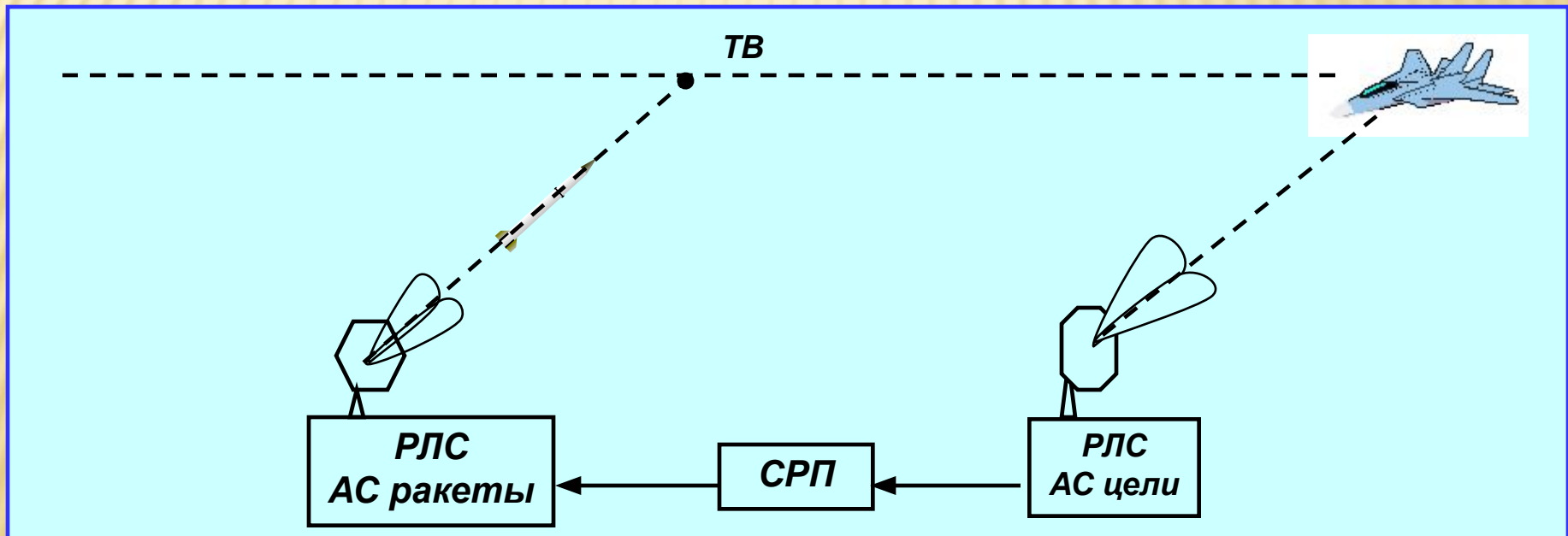


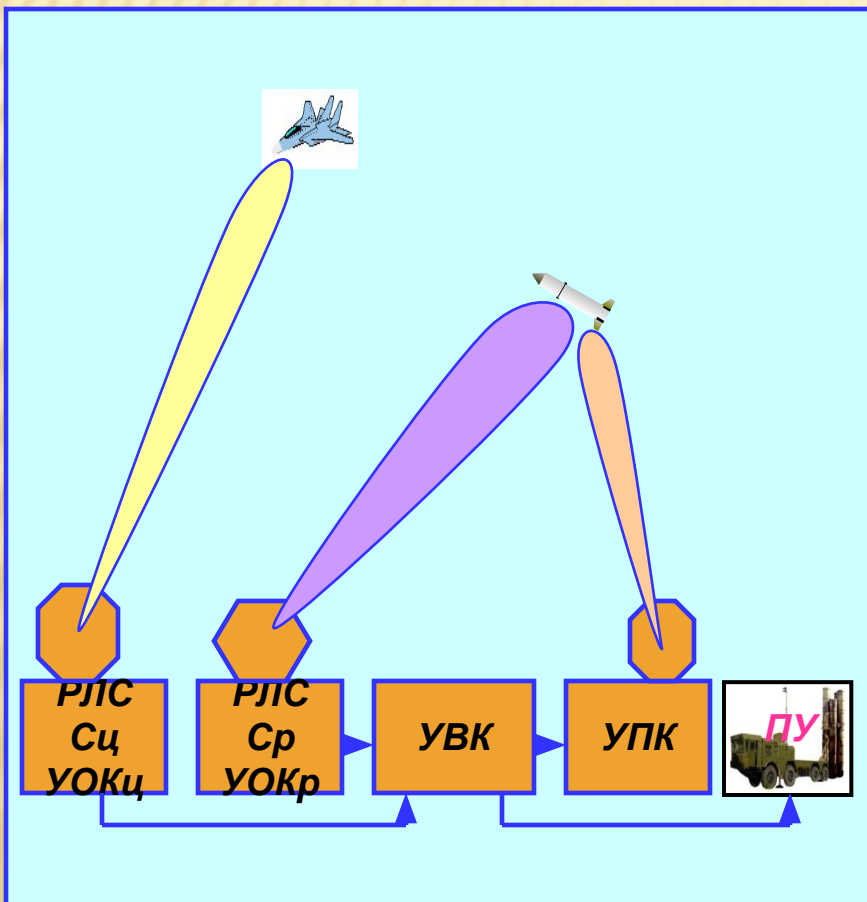
Рис. 1.5. Двухлучевая система теленаведения



## 1 СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗУР

**Командные системы теленавещения** – это такие системы, в которых наведение ракеты на цель осуществляется с помощью специальных команд, передаваемых с пункта управления на ракету.

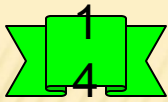
### Командная система ТУ-1



**В командной системе ТУ-1** (рис.) определение текущих координат цели и ракеты осуществляется с наземной РЛС сопровождения цели и ракеты.

Достоинства: относительная простота бортовой аппаратуры, сильная гибкость по числу и геометрии возможных траекторий ракеты.

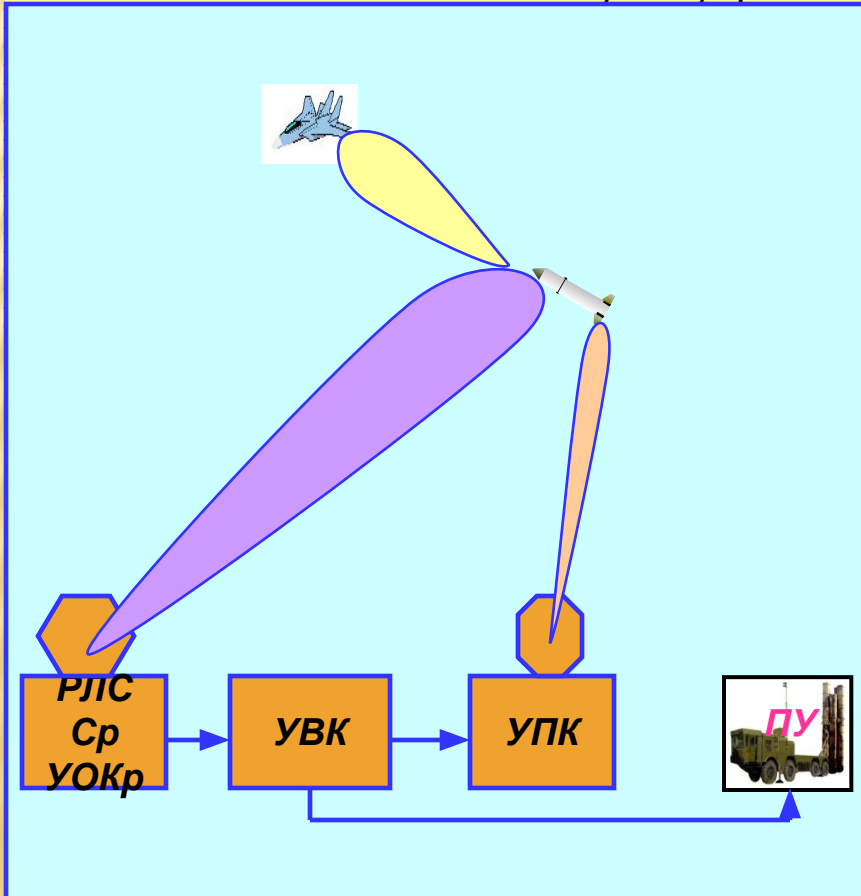
Основной ее недостаток - зависимость величины линейной ошибки наведения ракеты на цель от дальности стрельбы.



## 1 СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗУР

### Командная система ТУ-II

В командных системах ТУ-II координатор цели располагается на борту ракеты (рис.). Он осуществляет слежение за целью и определение ее текущих координат в подвижной системе координат, связанной с ракетой. Координаты цели по каналу связи передаются на пункт управления на земле (УВК). От РЛС



получают текущие координаты параметр рассогласования и формирует управления, которые после передаются на борт

Достоинства: независимость точности наведения ЗУР от дальности стрельбы и повышение разрешающей способности по мере приближения ракеты к цели.

Основной ее недостаток - возрастание сложности и стоимости бортовой аппаратуры и невозможность ручного сопровождения цели.



Вопрос №2

Методы

наведения ЗУР



## 2 Методы наведения ЗУР

**Наведение управляемой ракеты на движущуюся цель** есть непрерывный процесс автоматического управления ее полетом.


В результате ракета выводится в область встречи с целью и поражает ее.


**Методом наведения** называется закон, который на основании координат и параметров движения цели однозначно определяет требуемое движение ракеты в точку встречи с целью.

В процессе полета ракеты под действием большого числа факторов и при изменении положения воздушной цели в пространстве происходит нарушение заданного закона сближения, и ракета сходит с кинематической траектории.

Меру нарушения связей, налагаемых методом наведения на движение ракеты, называют **параметром рассогласования**.

*К методам наведения предъявляются следующие требования:*

 должна обеспечиваться встреча ракеты с целью во всем диапазоне параметров ее движения.

 кривизна кинематической траектории должна обеспечивать выполнение неравенства  $\text{прасп} > \text{ппотр}$ .



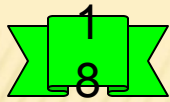
## 2 Методы наведения ЗУР

- Метод
- наведения

Классификация методов наведения

- Двух-
  - точечный
    - погони
    - Погони
    - с
      - постоянным
      - углом
      - упреждения
    - Парал-
      - лельного
      - сближения
    - Пропорци-
      - онального
      - сближения
  - Трех-
    - точечный
      - Трех
      - точек
      - С
        - Постоянным
        - Ккоэффи-
          - циентом
          - упреждения
        - Полного
        - спрямления
        - тресктерши





## 2 Методы наведения ЗУР

### 2.1.1 Двухточечные методы

**Двухточечные методы** - это такие методы, при реализации которых определяется взаимное положение в пространстве двух точек - ракеты и цели.

Задание метода наведения сводится к определению положения вектора скорости ракеты  $V_p$  относительно линии ракета - цель. Угол между вектором  $V_p$  и линией РЦ называют **углом упреждения**. Он может быть задан постоянным или изменяющимся во времени по определенному закону.

Четыре вида уравнения связи, которые определяют двухточечные методы:

-метод погони  
с нулевым упреждением.

$$\Theta_p - \varepsilon = \psi = 0$$

метод погони с  
постоянным углом упреждения

$$\Theta_p - \varepsilon = \psi = \text{const.}$$

метод параллельного сближения

$$\varepsilon = 0$$

метод пропорционального сближения.

$$\Theta_p = \beta \varepsilon$$

## 2 Методы наведения ЗУР

### 2.1.1 Двухточечные методы

**Метод пропорционального сближения (пропорциональной навигации)** – такой метод, при котором в процессе всего наведения угловая скорость вращения вектора скорости ракеты  $V_p$  пропорциональна угловой скорости вращения линии визирования (линии ракета – цель)

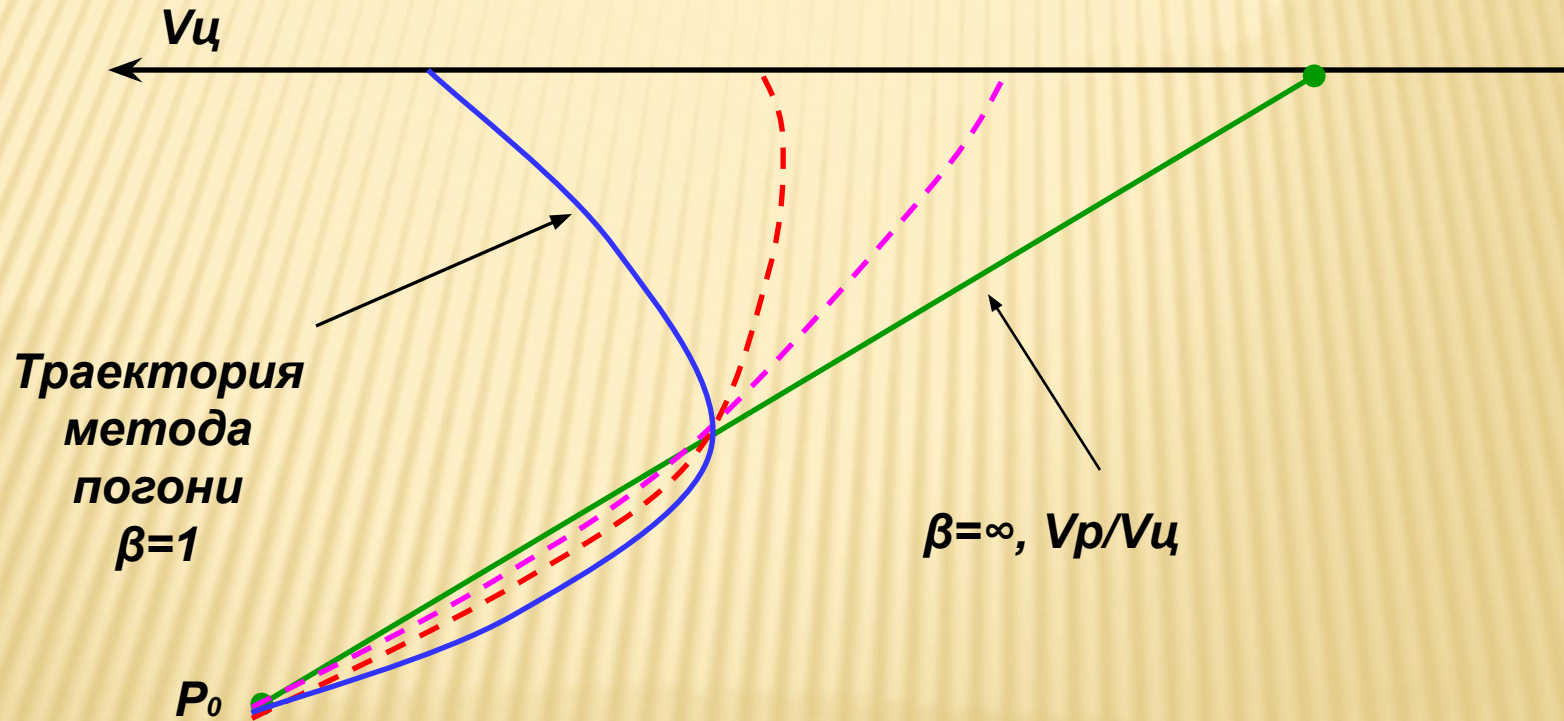


Рис. 2.1.2 Траектории метода пропорционального сближения (пунктирные кривые)

## 2 Методы наведения ЗУР

### 2.1.2 Трехточечные методы

**Трехточечными методами наведения** называются такие методы, при реализации которых определяется взаимное положение в пространстве трех точек – пункта управления, ракеты и цели. Эти методы используются для наведения телеуправляемых ракет. Уравнения трехточечных методов можно задать следующей структурой:

$$\begin{cases} \varepsilon_{\kappa} = \varepsilon_{\psi} + A_{\varepsilon} \Delta r \\ \beta_{\kappa} = \beta_{\psi} + A_{\beta} \Delta r \end{cases}$$

где  $A_{\varepsilon}$  и  $A_{\beta}$  – параметры метода наведения в соответствующей плоскости управления, вид которого определяет конкретный метод.  
 $\Delta r = r_{\psi} - r_p$  – разность наклонных дальностей цели и ракеты

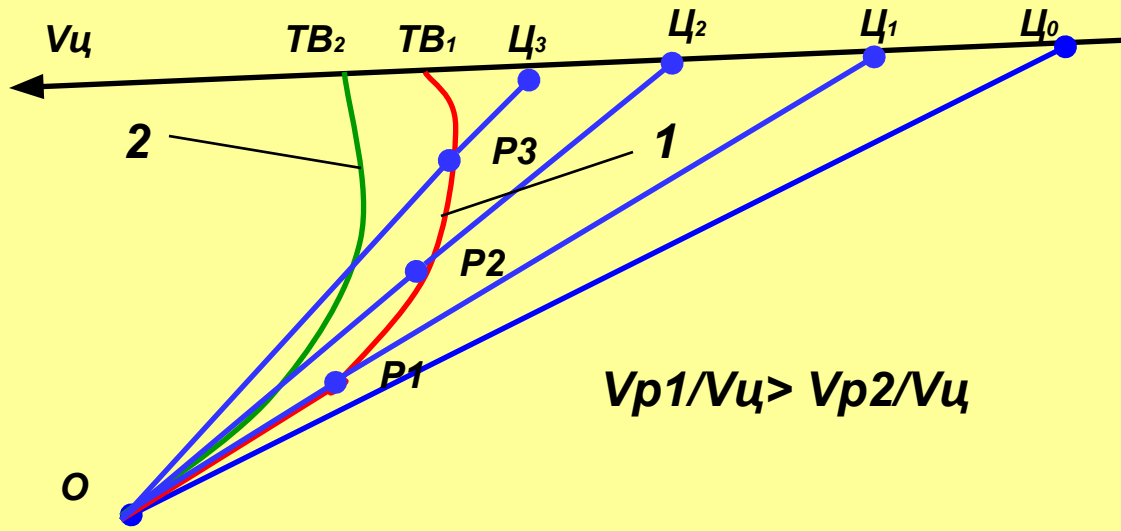
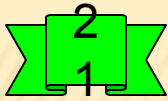


Рис. 2.1.3 Графическое построение траектории по методу трех точек





## 2 Методы наведения ЗУР

### 2.1.2 Трехточечные методы

#### Метод трех точек (накрытия цели)

**Методом трех точек** называется метод наведения, согласно которому ракета в течение всего времени полета к цели должна находиться на прямой, соединяющей пункт управления с целью.

По отношению к наблюдателю, находящемуся на пункте управления, ракета "накрывает" цель, отсюда второе наименование метода.

Достоинства метода трех точек: реализация метода не требует информации о дальности до цели, поэтому этим методом возможен обстрел целей – постановщиков активных помех; достаточно высокая эффективность стрельбы по малоскоростным и маневрирующим целям; простота приборной реализации.

К недостаткам данного метода можно отнести: большую динамическую ошибку из-за высокой кривизны траектории, меньшую дальность стрельбы; сравнительно большую величину потребных перегрузок, особенно вблизи цели, где располагаемые перегрузки уменьшаются; резкое возрастание ошибок наведения при стрельбе по скоростным и маневрирующим целям.

## 2 Методы наведения ЗУР

### 2.1.2 Трехточечные методы

#### **Методы полного и половинного спрямления траектории.**

При стрельбе по скоростным целям для уменьшения кривизны траектории целесообразно вводить упреждение в угловом положении ракеты относительно цели по направлению вектора  $V_{ц}$ . При этом линия визирования ракеты упреждает линию визирования цели на некоторый угол. Наведение ЗУР производится в заранее рассчитанную точку встречи с целью, или в упрежденную точку, положение которой уточняется в зависимости от характера движения цели.

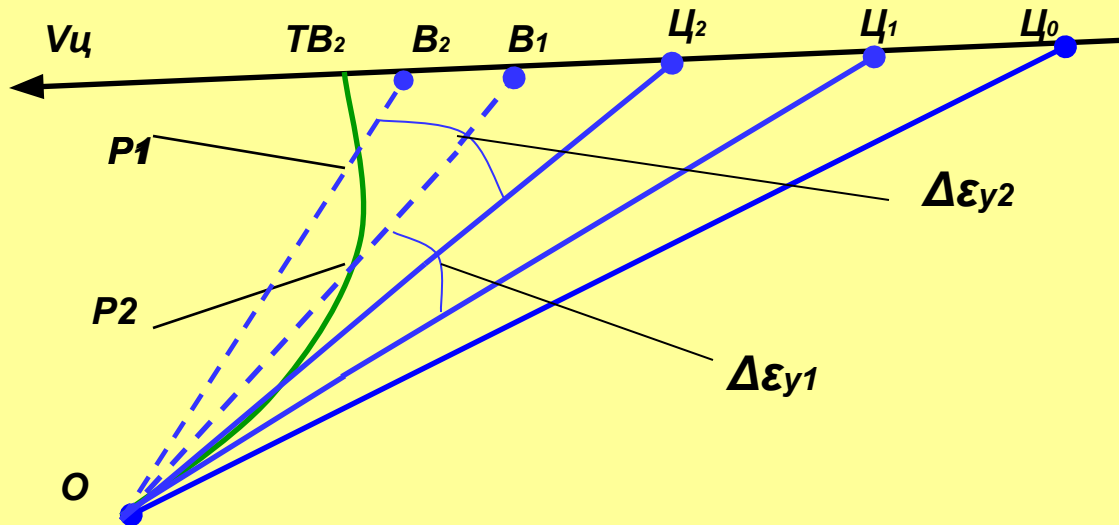
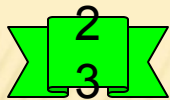


Рис. 2.1.4 Графическое построение требуемой траектории по методу половинного спрямления траектории



## 2 Методы наведения ЗУР

### 2.1.2 Трехточечные методы

**Достоинством** метода полного спрямления является минимальная кривизна траектории при обстреле неманеврирующей цели.

**К недостаткам** можно отнести следующие:

- при высоких скоростях цели  $V_{ц}$  угол упреждения будет настолько большим, что при ограниченных размерах сектора обзора окажется невозможным одновременное сопровождение цели и ракеты; - при маневрах цели положение точки встречи в пространстве очень резко изменяется, а траектория ракеты будет иметь резкие изломы, и в этом случае сильно возрастают динамические ошибки наведения.

Метод половинного спрямления в сравнении с методом трех точек обладает следующими **преимуществами**: меньшей (примерно в два раза) кривизной траектории метода, значит, и меньшими значениями динамических ошибок наведения; достаточно эффективной стрельбой по маневрирующим и скоростным целям.

**К недостаткам** этого метода можно отнести: невозможность его применения в условиях активных помех, когда нельзя определить дальность до цели; более сложную приборную реализацию.



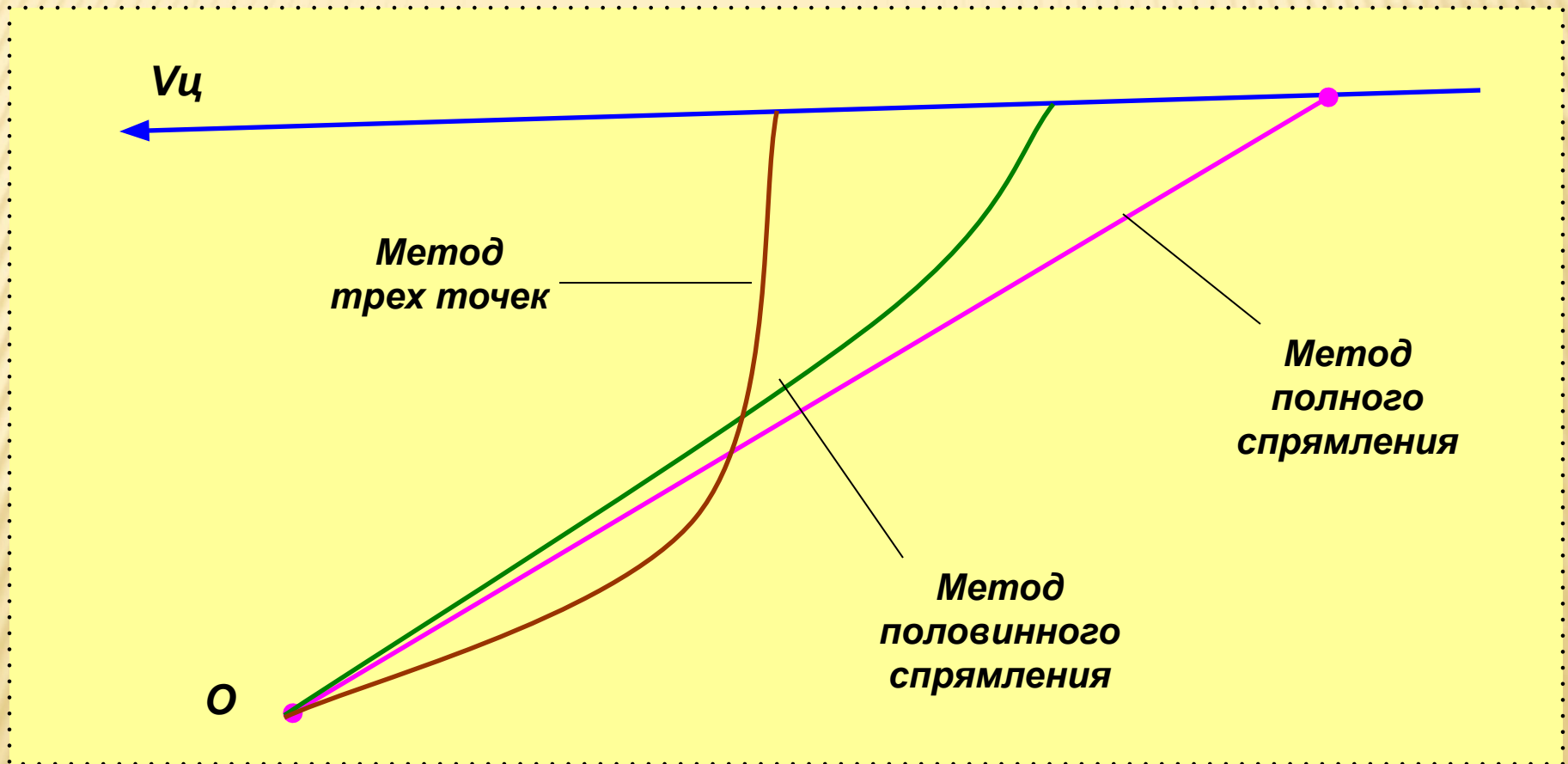


Рис. 2.1.5 Требуемые траектории ракеты при ее наведении разными трехточечными методами.

---

**Вопрос №3**

**ЗОНЫ**

**ПОРАЖЕНИЯ И ПУСКА**

**ЗРК**

### 3 Зоны поражения и пуска ЗРК

**Зона поражения** - это область пространства, в каждой точке которой обеспечивается поражение одной ракетой одиночной цели при фиксированных условиях стрельбы с вероятностью не менее заданной. Размеры зоны поражения характеризуются дальней, ближней, верхней и нижней границами.

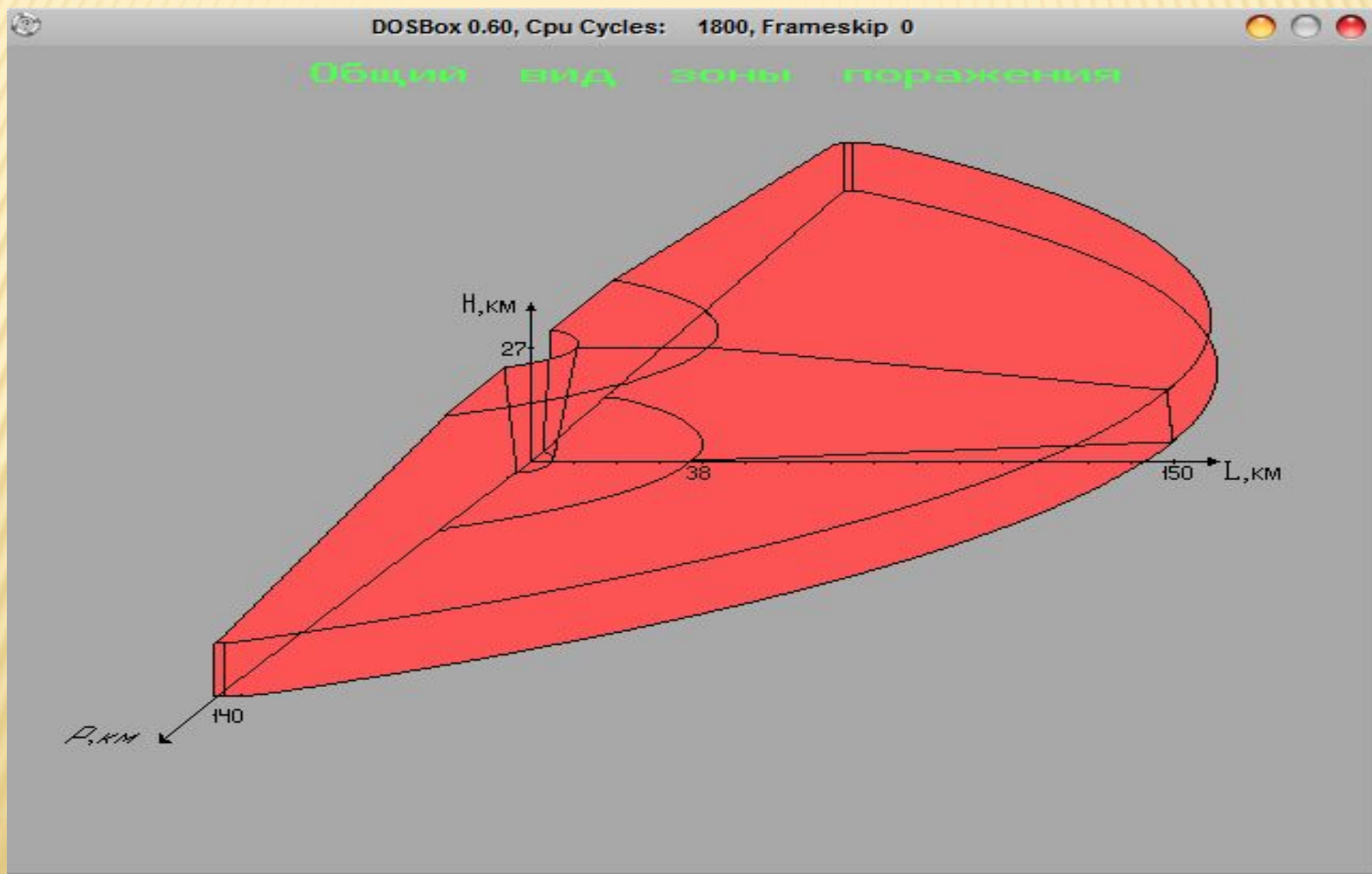
Основными величинами, характеризующими зону поражения ЗРК, являются горизонтальная (наклонная) дальность до дальней  $dA(DA)$  и ближней  $dB(DB)$  границ зоны поражения, минимальная  $H_{мин}$  и максимальная  $H_{макс}$  высота, максимальный курсовой угол  $q_{макс}$ , предельный курсовой параметр  $R_{пред}$  и максимальный угол места  $\varepsilon_{макс}$ .

Совокупность зон поражения данного ЗРК при всех возможных направлениях полета цели принято называть **зоной обстрела комплекса**.

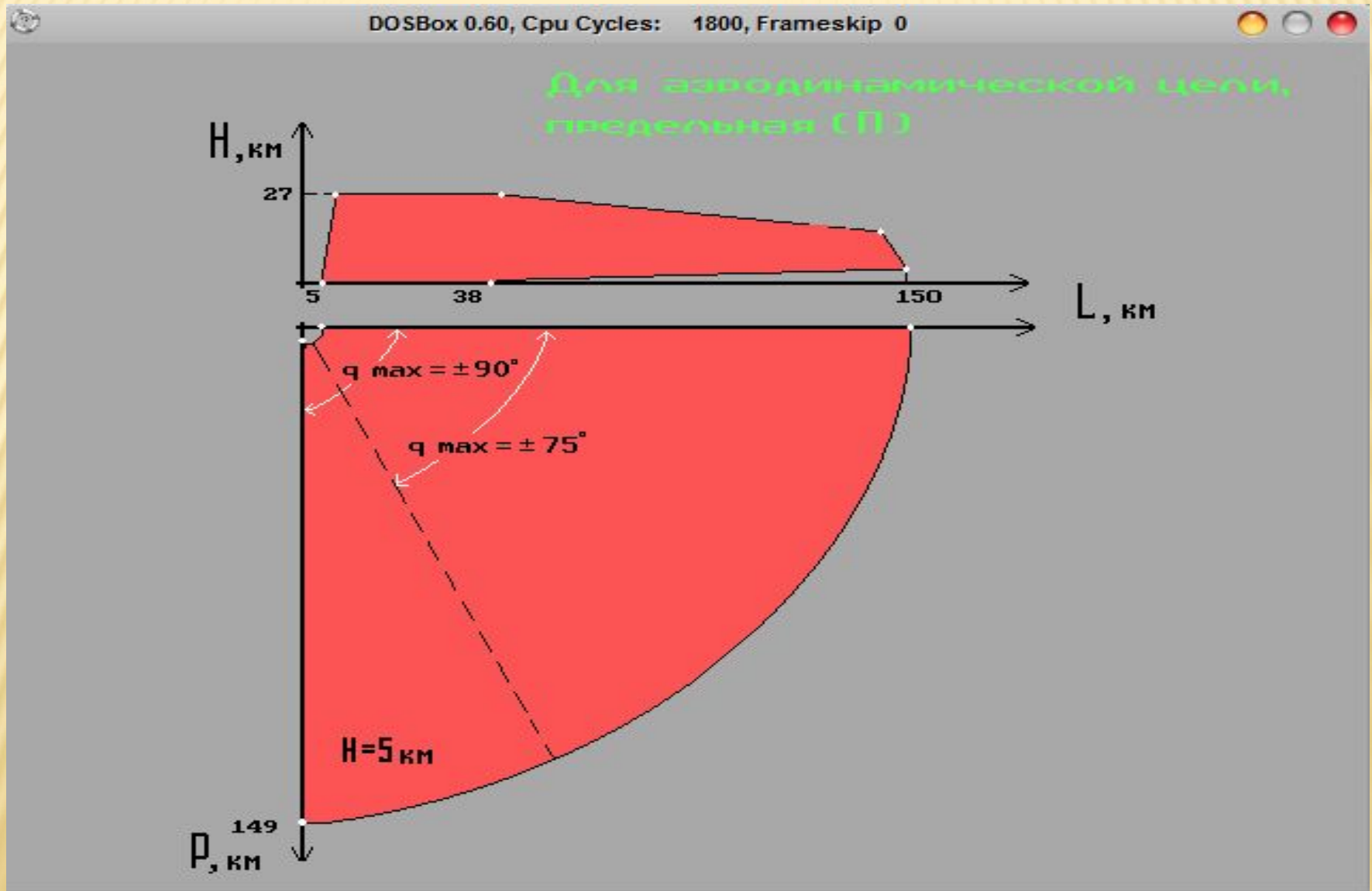
**Реализуемая зона поражения** – часть зоны поражения ЗРК, в пределах которой обеспечивается уничтожение цели с учетом ограничений, связанных с условиями стрельбы (рельефом местности, помехами и т.д.).



### 3 Зоны поражения и пуска ЗРК



### 3 Зоны поражения и пуска ЗРК



### 3 Зоны поражения и пуска ЗРК

Область пространства, при нахождении цели в любой точке которой в момент пуска ракеты обеспечивается встреча ракеты с целью в зоне поражения, называется **зоной пуска зенитных ракет**.

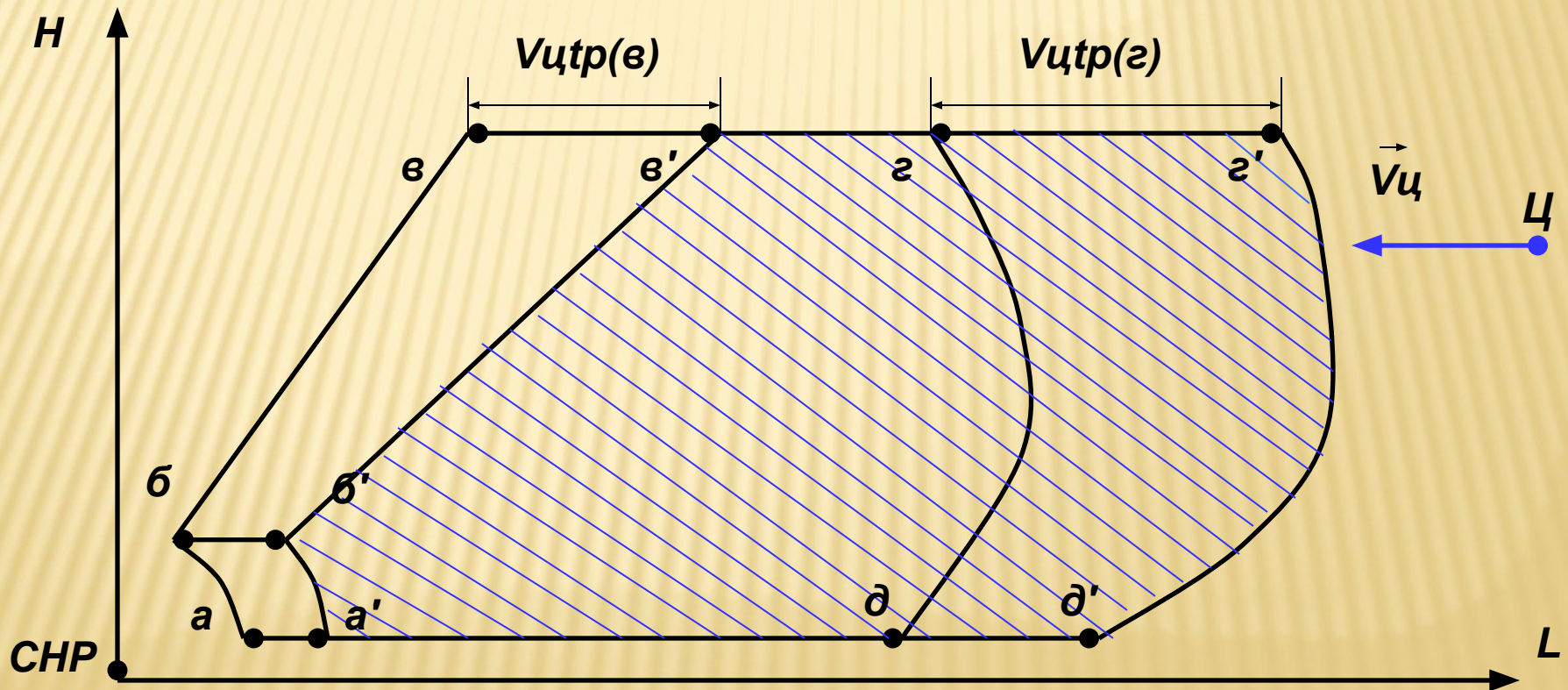


Рис. 3.2 Вертикальное сечение зон поражения и пуска



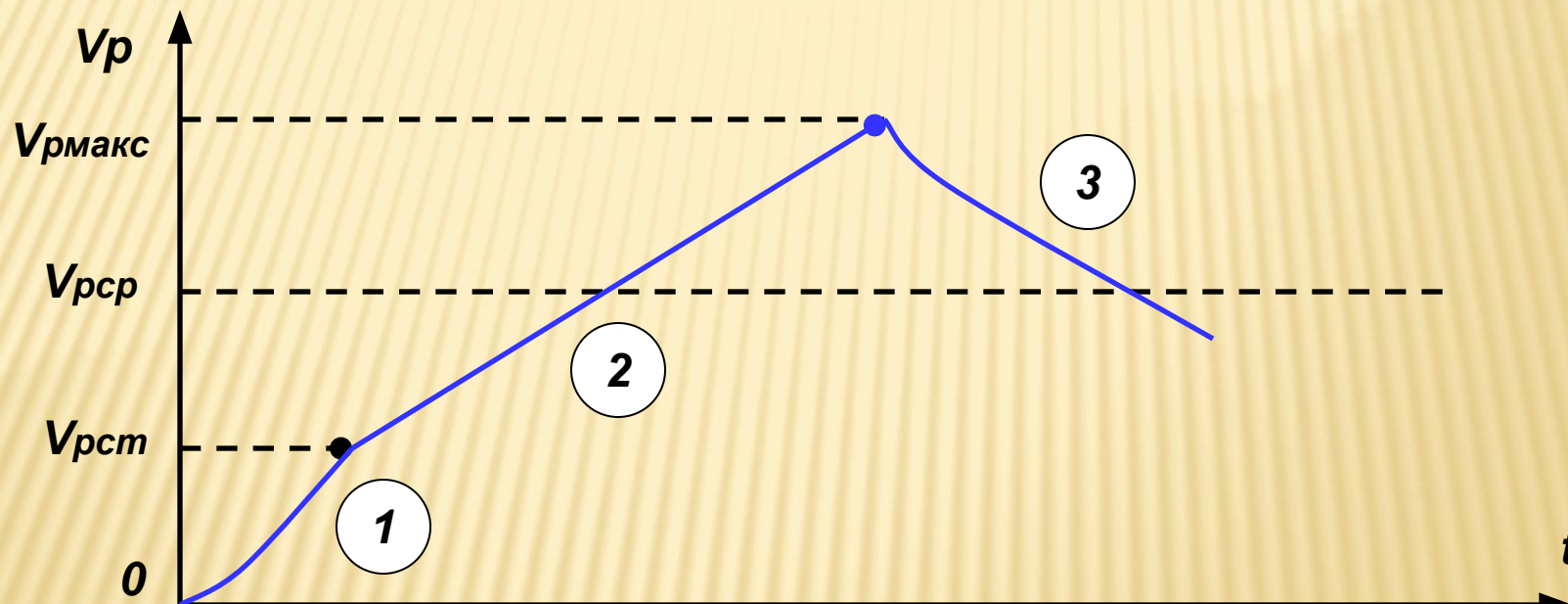
**Положение границ зоны поражения** в общем случае определяется большим числом факторов, связанных с характеристиками комплекса, условиями стрельбы и характеристиками воздушной цели. Это, прежде всего:

- летно-баллистические и маневренные возможности ракеты;
- параметры контура управления и метод наведения ракеты;
- характеристики боевого снаряжения ракеты (боевой части и радиовзрывателя) ;
- возможности радиолокационных средств по сопровождению целей;
- летные характеристики, эффективная отражающая поверхность и уязвимость воздушных шлей;
- условия стрельбы (наличие помех, маневра цели) и др.

## 3 Зоны поражения и пуска ЗРК

### 3.1 Факторы, определяющие положение верхней и дальней границы зоны поражения

Положение верхней и дальней границ зоны поражения определяется такими значениями высоты и дальности точки встречи, при которых эффективность стрельбы по цели не ниже заданной.



Характер зависимости скорости от времени полета показан на рис., где отмечены три участка: 1 - разгон ракеты, т.е. ее полет со стартовым ускорителем; 2 - полет ракеты с работающим маршевым двигателем, обеспечивающим дальнейшее повышение скорости; 3 - полет ракеты на пассивном участке траектории, на котором скорость под действием лобового сопротивления и силы тяжести падает.

### 3 Зоны поражения и пуска ЗРК

#### 3.1 Факторы, определяющие положение верхней и дальней границы зоны поражения

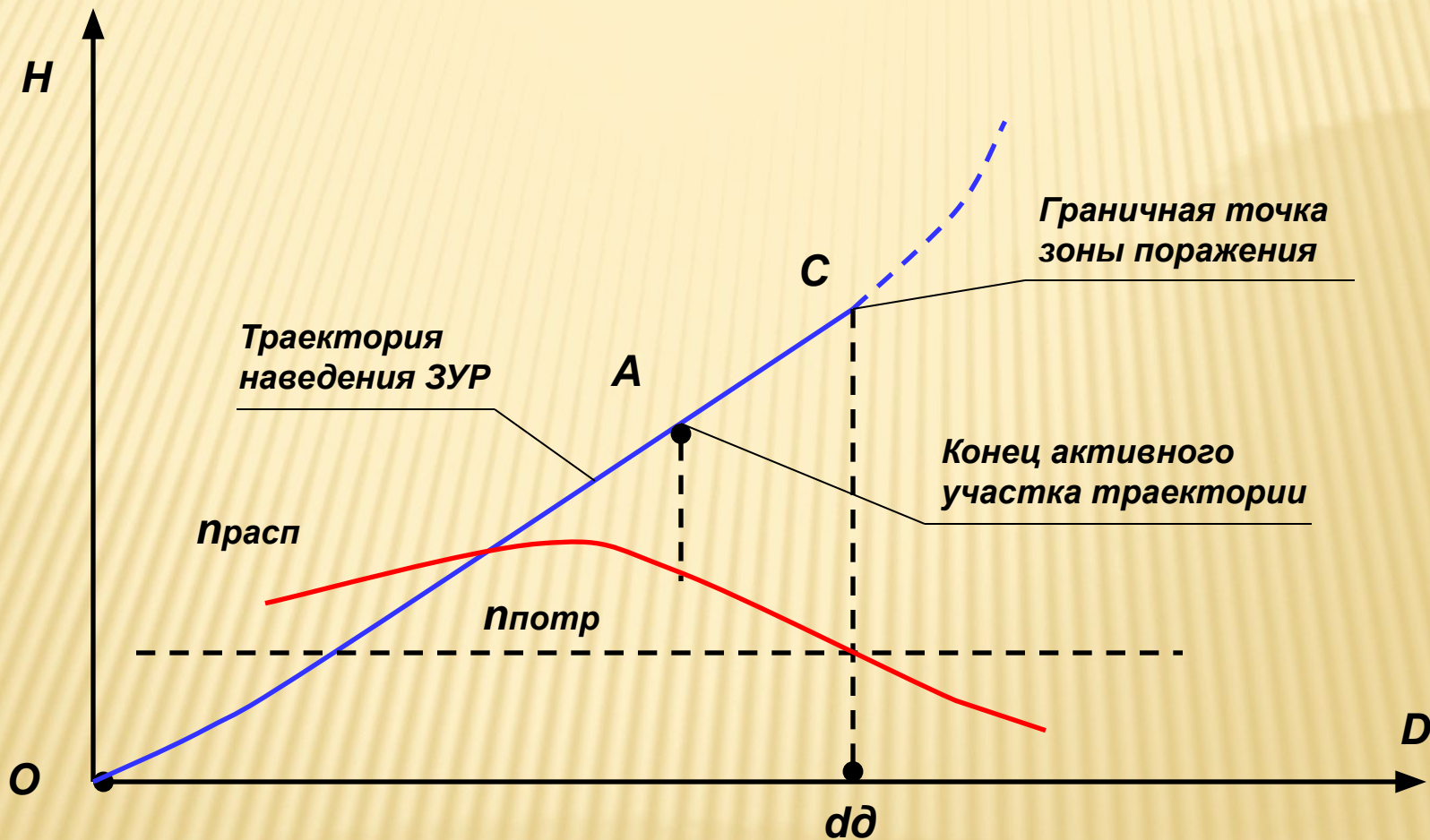


рис. Досягаемость ракеты по соотношению располагаемой и потребной нагрузки.



## 3.1 Факторы, определяющие положение верхней и дальней границы зоны поражения

Положение дальней границы зоны поражения предопределяет потребную дальность действия радиолокационной станции сопровождения цели, входящей в состав комплекса:

$$d_{\text{потр}} = d_{\text{Д}} + V_{\text{ц}} (t_{\text{раб}} + t_{\text{в}})$$

где  $d_{\text{потр}}$  – потребная горизонтальная дальность действия РЛС сопровождения цели;

$d_{\text{Д}}$  – горизонтальная дальность до дальней границы зоны поражения;

$t_{\text{раб}}$  – время, необходимое для подготовки стрельбы после обнаружения цели РЛС (рабочее время ЗРК);

$t_{\text{в}}$  – полетное время ракеты до точки встречи.

**3.2 Факторы, определяющие положение ближней границы зоны поражения**

---

*В траектории ЗУР можно выделить три участка:*

- а) неуправляемого полета ракеты (начальный);*
- б) вывода ракеты на требуемую траекторию (отработки начального рассогласования);*
- в) наведения.*

*От протяженности первых двух участков зависит удаление ближней границы зоны поражения.*

*Для приближения к точке старта ракеты ближней границы зоны поражения необходимо уменьшать начальные ошибки прицеливания и время переходного процесса системы при их отработке*



### 3.2 Факторы, определяющие положение ближней границы зоны поражения

Максимальный угол места и курсовой угол зоны поражения

Время отработки начальной ошибки прицеливания определяет не всю поверхность ближней границы зоны поражения, а лишь ее часть, примыкающую к комплексу. На положение других участков этой поверхности, фиксируемых максимальными значениями угла места  $\xi_{\text{макс}}$  и курсового угла  $\varphi_{\text{макс}}$  влияют следующие факторы:

- соотношение потребных и располагаемых перегрузок ракеты;
- согласование неконтактного взрывателя и боевой части при заданных условиях встречи;
- ограничение угла сопровождения цели радиолокационной станцией в угломестной плоскости;
- ограничение текущего пеленгационного угла цели максимально возможным отклонением антенны головки самонаведения от продольной оси ракеты;
- ограничение угла упреждения кинематической траектории относительно линии визирования цели.



## 3.3 Факторы, определяющие положение нижней границы зоны

Положение нижней границы поражения в значительной степени определяется конструктивными особенностями комплекса, характеристиками метода наведения и системы управления, параметрами неконтактного взрывателя, возможностью работы радиолокационных средств по низколетящим целям и т.д.

Для поражения воздушной цели на малой высоте необходимо:

- обнаружить цель радиолокационной станцией на требуемой дальности;
- обеспечить наведение ракеты на цель с достаточной точностью, исключив возможность ее столкновения с землей;
- исключить влияние земли на работу неконтактного взрывателя (обеспечить его срабатывание по цели).

Кривизна земной поверхности ограничивает дальность радиолокации дальностью прямой видимости (рис. 3.1.4). Дальность прямой видимости (в километрах):

$$D_{\text{пр.вид.}} = 3.57(\sqrt{h} + \sqrt{H}),$$

где  $h$  – высота антенны РЛС, м;  $H$  – высота полета цели, м.

## 3.3 Факторы, определяющие положение нижней границы зоны поражения

С учетом нормальной рефракции (отклонения радиолуча от прямолинейного пути в среде с переменным коэффициентом преломления) формула примет вид

$$D_{\text{пр.вид.}} = 4.12(\sqrt{h} + \sqrt{H}).$$

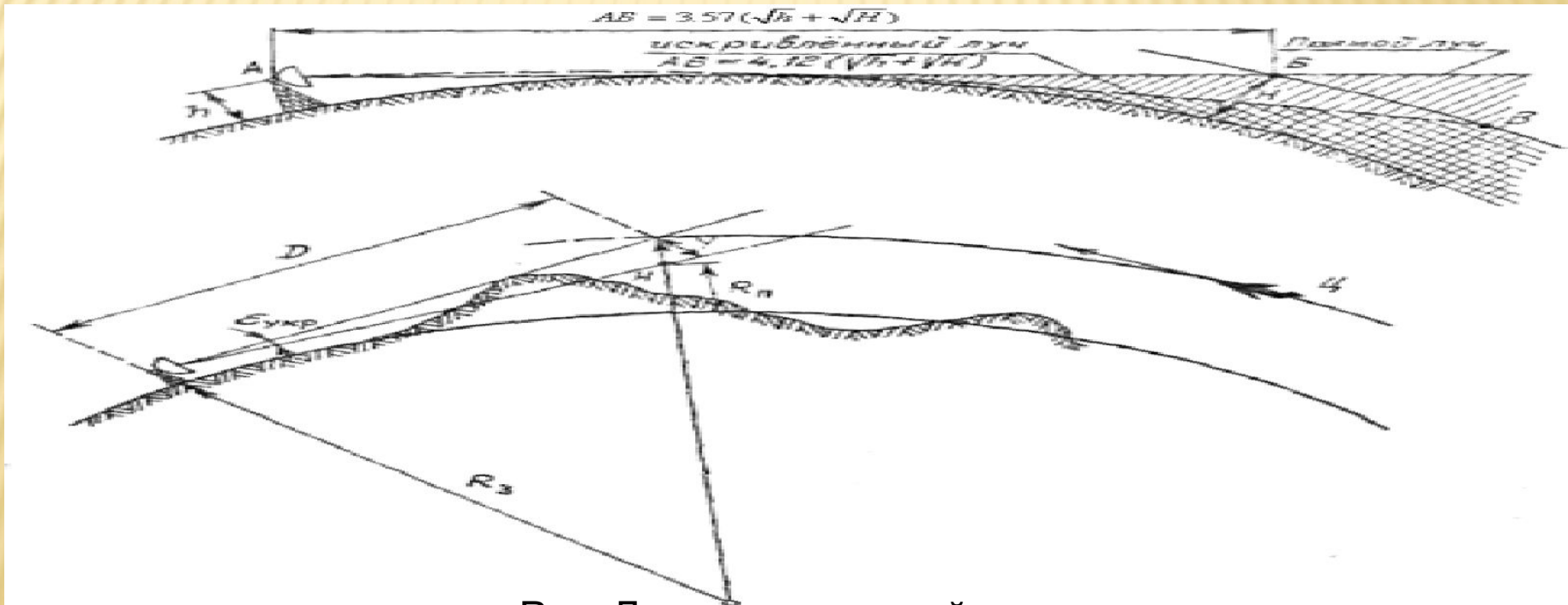


Рис. Дальность прямой видимости.

## 3.3 Факторы, определяющие положение нижней границы зоны поражения

Большое влияние на дальность обнаружения низколетящих целей оказывают углы закрытия РЛС. Рельеф местности и местные предметы, создающие положительные углы закрытия, являются экраном электромагнитной энергии. За ними образуется область радиотени, в которой цели не обнаруживаются.

Зависимость дальности обнаружения от угла закрытия (укрытия) и высоты полета цели определяется из формулы

$$\varepsilon_{\text{укр}} = \arcsin\left(\frac{H}{D} - \frac{D}{2R_3}\right),$$

где  $\varepsilon_{\text{укр}}$  - угол закрытия антенны РЛС;  $H$  – высота полета цели, км;  $D$  – дальность обнаружения РЛС при данном угле закрытия, км;  $R_3$  – радиус земли, равный 6370 км (с учетом нормальной рефракции он принимается равным 8500 км).

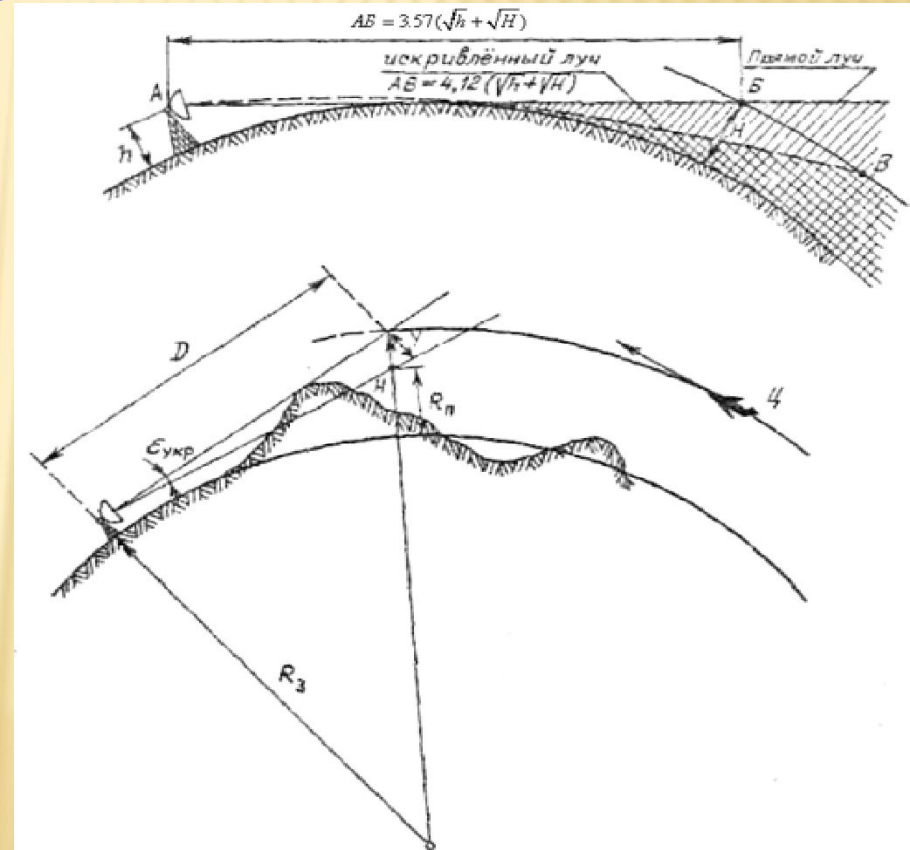
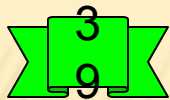


Рис. Влияния угла закрытия на дальность прямой видимости





### 3 Зоны поражения и пуска ЗРК

#### 3.3 Факторы, определяющие положение нижней границы зоны поражения

Дальность обнаружения в километрах (с учетом нормальной рефракции) для различных углов укрытия и высоты полета цели приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Укр	Высота (H-h), м					
	20	50	100	300	500	1000
0°	16	28	40	71	92	130
0°15`	3,3	9,2	18	43	62	98
0°30`		3,8	10	28	44	75
1°			5,3	16	26	49
2°				8,3	14	27

## 3.3 Факторы, определяющие положение нижней границы зоны поражения

На дальность радиолокации при работе по низколетящим целям оказывает влияние не только кривизна земли, но и возникающее при этом явление интерференции радиоволн.

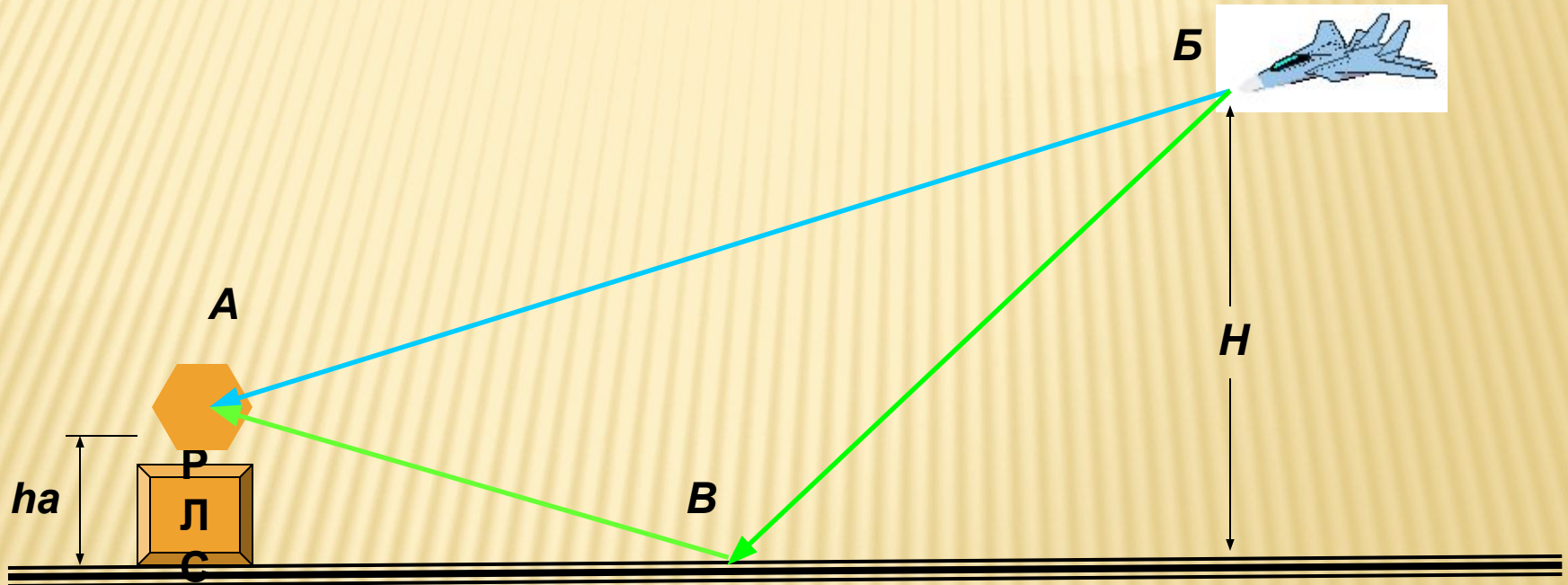
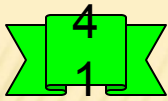


Рис. Интерференция радиоволн, распространяющихся двумя путями



### 3 Зоны поражения и пуска ЗРК

#### 3.4 Гарантированная зона пуска

**Гарантированной зоной пуска** называется область пространства, при нахождении цели в которой в момент пуска ракеты встреча ракеты с маневрирующей целью произойдет в зоне поражения.

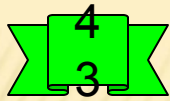
Границы этой зоны определяются условием  $t_e = t_{ц.помп}$ , где  $t_e$  – полетное время ракеты до точки встречи;  $t_{ц.помп}$  – время, потребное цели для выхода путем резкого маневра за границы зоны поражения.

Для каждой точки гарантированной зоны пуска  $t_e \leq t_{ц.помп}$ .



# Вопрос №4

**ЦИКЛ СТРЕЛЬБЫ  
И ЕГО  
СОСТАВЛЯЮЩИЕ**



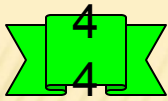
## **4 Цикл стрельбы и его составляющие**

**Возможность ЗРК по последовательному обстрелу целей, входящих в его зону поражения, т.е. пропускная способность комплекса, в общем случае определяется продолжительностью цикла стрельбы и временем перезаряжания пусковых установок и подготовки ракет к старту.**

**Цикл стрельбы характеризуется временем занятости целевого канала комплекса при выполнении одной стрельбы  $n$  ракетами ( $n$  - число ракет в очереди при обстреле данной цели одним каналом). Это время включает время подготовки стрельбы и время, необходимое на обстрел цели. Если продолжительность цикла стрельбы фиксировать моментами пуска ракет по первой и второй целям, то**

$$T_{ц} = T_{об} + T_{п},$$

**где  $T_{ц}$  – продолжительность цикла стрельбы;  $T_{об}$  - время, необходимое на обстрел первой цели;  $T_{п}$  - время переноса огня на вторую цель, равное времени подготовки стрельбы.**



## 4 Цикл стрельбы и его составляющие

**Время, необходимое на обстрел цели, зависит от боевых свойств комплекса и определяется по формуле**

$$T_{об} = t_v + t_n + t_{оц},$$

где  $t_v$  – полетное время ракеты до точки встречи;  $t_n$  – сумма временных интервалов между пусками ракет в очереди;  $t_{оц}$  – время оценки результатов стрельбы.

**Время переноса огня можно определить по формуле**

$$T_{п} = t_{цу} + t_{захв} + t_{подг},$$

где  $t_{цу}$  – время на обработку целеуказания РЛС слежения (подсвета) цели и ее обнаружение;  $t_{захв}$  – время захвата цели на сопровождение РЛС слежения (подсветка);  $t_{подг}$  – время подготовки исходных данных для стрельбы, приведения в окончательную готовность ракет и пусковых установок и оценки готовности канала к стрельбе.



## **Литература:**

- 1. А.С. Малыгин «Управление огнем ЗРК»***
- 2. Ф.К. Неупокоев «Стрельба зенитными ракетами»***
- 3. В.П. Демидов, Н.Ш. Кутыев «Управление зенитными ракетами»***