

ТЕМА № 1. Основы построения ЗРС.

ЗАНЯТИЕ № 3. Системы координат, используемые в ЗРС.

Учебные вопросы

1. Необходимость применения различных систем координат в одной ЗРС.
2. Назначение, области применения и сущность систем координат, используемых в ЗРС.

1. НЕОБХОДИМОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ КООРДИНАТ В ОДНОЙ ЗРС

Знать местоположение цели в пространстве и параметры ее движения необходимо для последовательного выполнения следующих основных задач:

- поиска и обнаружения целей;
- выдачи целеуказания с КПС на ЗРК и выдачи обратной информации с ЗРК на КПС;
- измерения текущих координат и параметров движения целей и ракет станцией сопровождения целей и наведения на них ракет;
- выработки команд управления и наведения ракет на цели.

Решение вышеперечисленных задач, возможно только с использованием различных систем координат, такими как:

- прямоугольная система координат;
- местная земная система координат;
- биконическая система координат;
- сферическая система координат;
- параметрическая (курсовая) система координат;
- стартовая система координат;
- связанная система координат;
- скоростная система координат.

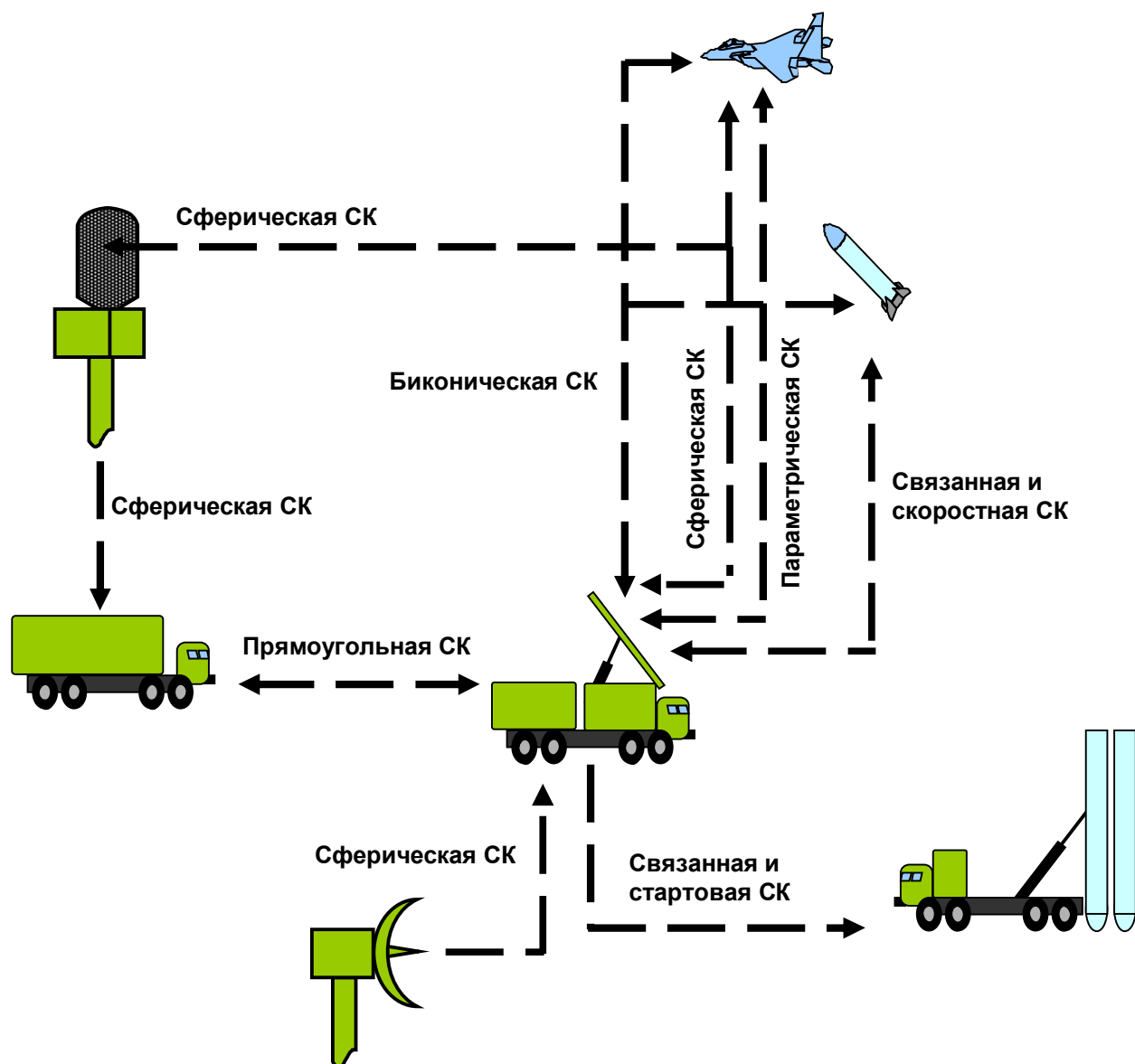


Рис. 1. Системы координат применяемые в современных ЗРС и их взаимосвязь (вариант)

В *местной земной системе координат* (рис. 1), представляющей собой правую декартову прямоугольную систему координат (X, Y, Z) , может осуществляться получение целеуказания с КПС и выдача обратной информации на КПС от ЗРК. Это связано с тем, что, как правило, КПС и ЗРК ориентированны на местности в *прямоугольной системе координат*. Для этого, за начало отчета координат, в этой системе, может приниматься, например, точка стояния пункта государственной геодезической сети. В свою очередь, местная земная система координат является модификацией

прямоугольной системы. (Сущность данной системы и порядок определения прямоугольных координат были изучены на занятиях по дисциплине «Военная топография»). Поэтому координаты, измеренные или пересчитанные в местной земной системе, также называют прямоугольными.

За начало отсчета этой системы координат может приниматься точка стояния антенного поста РЛС (например, проекция на поверхность земли центра антенного полотна радиолокатора обнаружения или станции сопровождения целей и наведения на них ракет).

В биконической системе координат $(D_n, \varphi_n, \varphi_v)$ может осуществляться получение информации о текущих координатах и параметрах движения целей и ракет.

В этой системе координат начало отсчета также может совпадать с центром антенного полотна РЛС.

Таким образом, измеренные текущие координаты целей и ракет в биконической системе координат, для выдачи их на КПС с ЗРК, преобразуются в итоге в местную земную систему координат в ЦВК ЗРК

Эти, вычисленные в ЦВК ЗРК, прямоугольные координаты целей и ЗУР используются на КПС для решения задач целераспределения и целеуказания (ЦР и ЦУ) и контроля боевых действий.

Сферическая система координат $(D_n, \beta, \varepsilon)$ может использоваться для решения задач автономного поиска целей как в радиолокационных средствах КПС, так и в радиолокационных средствах ЗРК (например, в РПН и НВО), при их самостоятельном ведении боевых действий (без выдачи ЦУ с КПС).

В параметрической (курсовой) системе координат (L, P, H) может осуществляться определение границ зоны поражения ЗРК и точки встречи ракеты с целью (решение задачи пуска).

Положение начала координат этой системы, как правило, совпадает с точкой стояния антенного поста станции сопровождения целей и наведения на них ракет (РПН).

Для определения ориентации ЗУР в пространстве вводят неподвижную относительно ее конструкции систему координат, которую называют *связанной системой координат* ($OX_{св}$, $OY_{св}$, $OZ_{св}$).

В *стартовой системе координат* ($OX_{ст}$, $OY_{ст}$, $OZ_{ст}$), как правило, производятся расчеты, необходимые для выведения ракеты после старта на кинематическую траекторию метода наведения.

Начало стартовой и связанной систем координат совпадает с центром масс ракеты.

В *скоростной системе координат* (OX_v , OY_v , OZ_v) определяются относительные координаты ЗУР в полете, оцениваются ошибки наведения ЗУР для выработки команд управления ракетой. Начало координат этой системы также находится в центре масс ракеты.

В итоге, измеренные относительные координаты ЗУР в полете, в дальнейшем используются в станции сопровождения целей и наведения на них ракет совместно с прямоугольными координатами цели и ракеты для выработки команд управления ЗУР.

Выбор каждой конкретной системы координат может определяться различными факторами:

- условиями боевой задачи, выполняемой данной ЗРС;
- требованием простоты конструкции антенн и пусковых установок;
- требованием снижения динамических ошибок в процессе наведения ЗУР на цель;
- простоты производимых расчетов и другими факторами.

Для решения отдельных специфических задач могут быть применены различные модификации вышеперечисленных систем координат.

1. НАЗНАЧЕНИЕ, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И СУЩНОСТЬ СИСТЕМ КООРДИНАТ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЗРС

Величины, однозначно определяющие положение цели в пространстве, называются *координатами цели*.

Положение цели в пространстве может быть определено только по отношению к каким – либо другим телам, которые называются телами отсчета (солнце, центр земли, определенная точка на поверхности земли и т. д.). С телом отсчета (началом отсчета) связывается определенная система координат.

В общем случае для определения местоположения летательных аппаратов могут применяться земные (неподвижные относительно Земли) и связанные (подвижные относительно Земли) системы координат.

Местная земная система координат, представляет собой правую декартову прямоугольную систему координат (X, Y, Z) (рис.2).

За начало отсчета этой системы координат, как уже было сказано, может приниматься точка стояния РЛС (проекция на поверхность земли центра антенного полотна). Ось OX , как правило, ориентирована в направлении на север, ось OY направлена вертикально вверх, а ось OZ направлена на восток.

Плоскость XOZ – горизонтальная, то есть совпадает с плоскостью местного горизонта.

В *биконической системе координат* $(D_n, \varphi_n, \varphi_v)$ (рис.№3, слайд №3) начало отчета тоже совпадает с центром антенного полотна РЛС, что позволяет относительно легко пересчитывать биконические координаты в прямоугольные. Ось OX_a направлена по нормали к плоскости антенного полотна, ось OY_a направлена перпендикулярно оси OX_a , ось OZ_a расположена в плоскости антенного полотна и направлена вправо от оси OX_a .

Местоположение цели в этой системе координат определяется координатами:

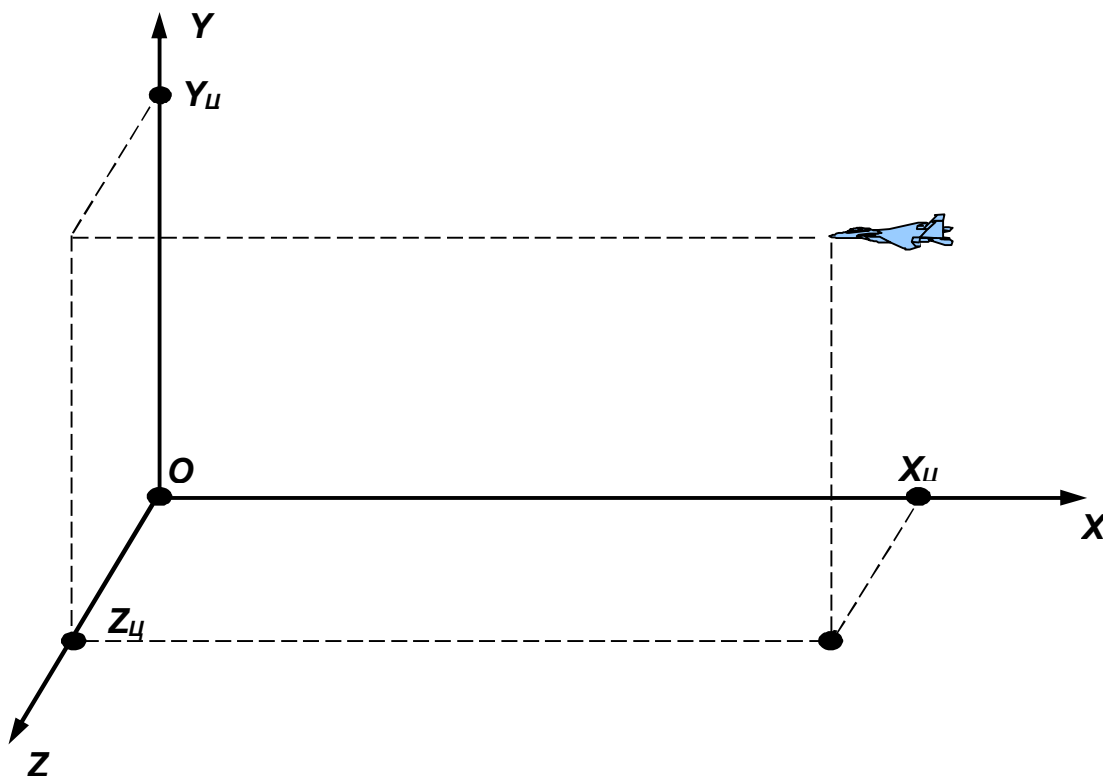


Рис.2. Местная земная система координат

D_H - наклонной дальностью до цели;

φ_H - наклонным углом между проекцией линии визирования цели на плоскость $X_a O Z_a$ и вертикальной плоскостью $X_a O Y_a$;

φ_β - вертикальным углом между линией визирования цели и ее проекцией на плоскость $X_a O Z_a$.

В сферической системе координат $(D_H, \beta, \varepsilon)$ (рис. 4) угол β называется *азимутом* (угол в горизонтальной плоскости) и образован осью OX , направленной на север, и проекцией линии визирования цели на горизонтальную плоскость XOZ , а угол ε называется *углом места* (угол в вертикальной плоскости) и образован плоскостью XOZ и направлением на цель; координата D_H - наклонная дальность до цели.

Таким образом, для определения наклонной дальности в биконической и сферической системах координат достаточно измерить время, называемое *временем запаздывания* t_z , за которое радиолокационный сигнал

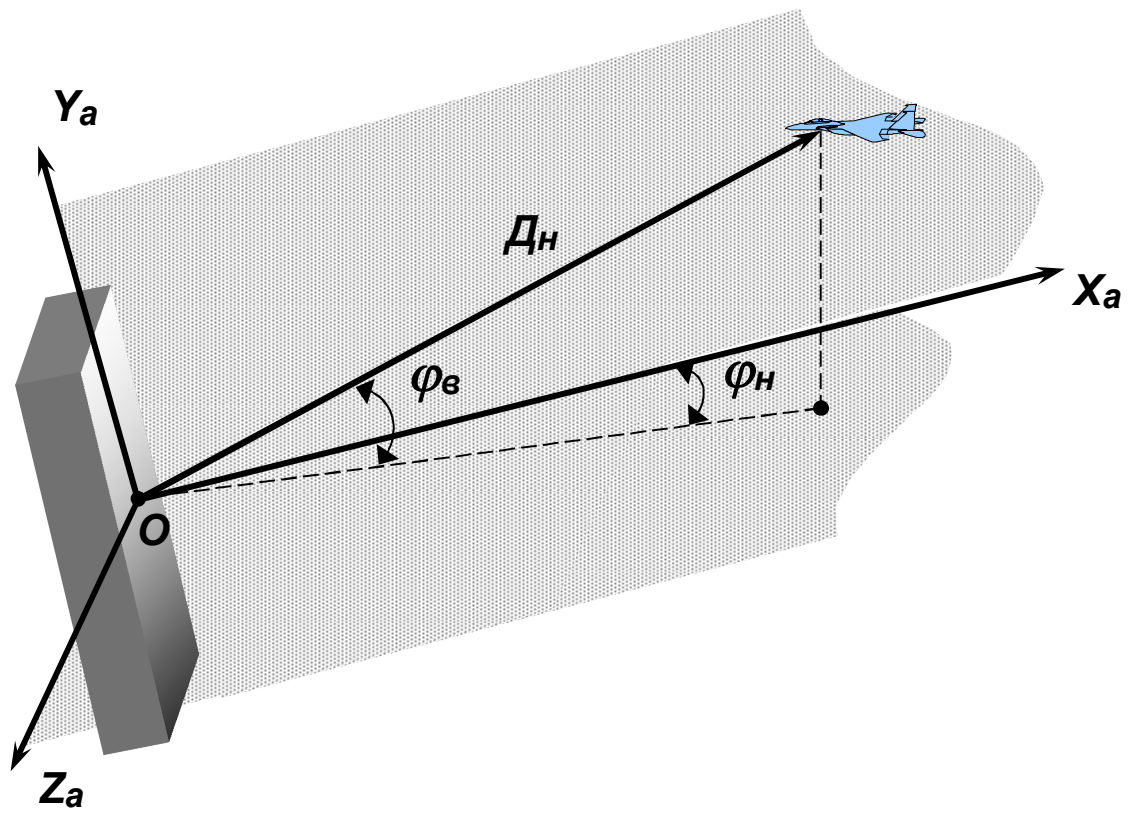


Рис. 3. Биконическая система координат

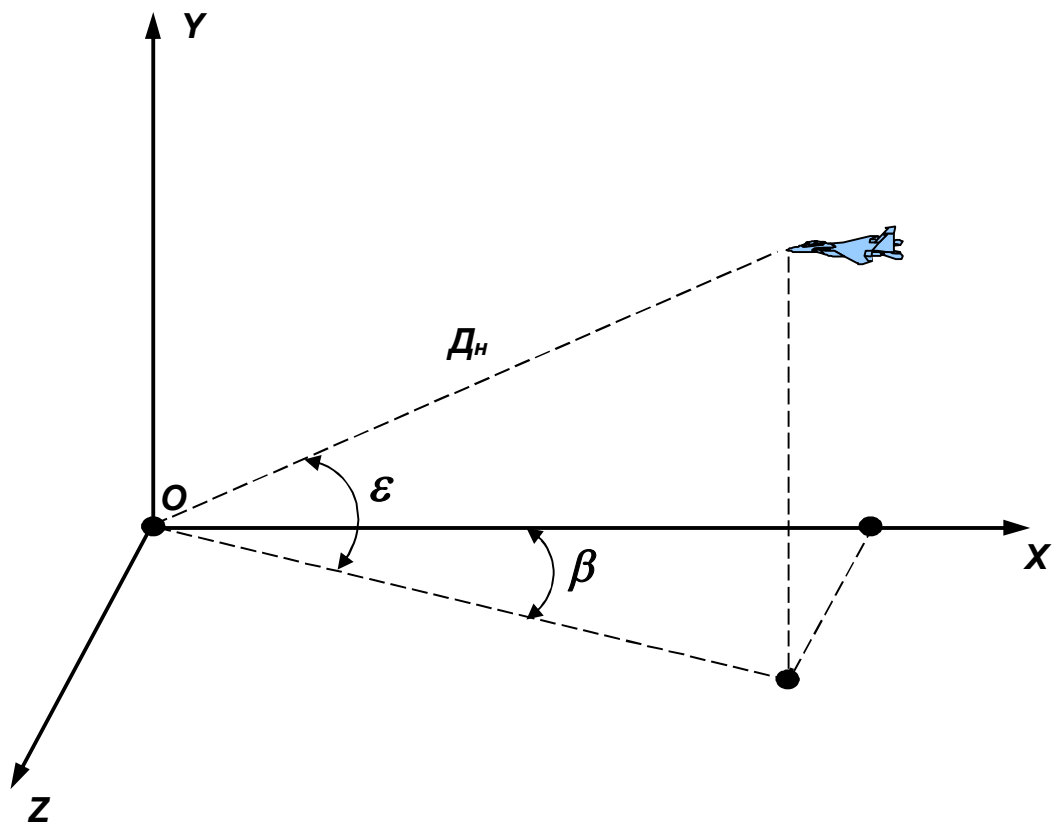


Рис. 4. Сферическая система координат

распространяется до цели и обратно. Так как за это время электромагнитная волна проходит расстояние, равное удвоенной дальности до цели, то:

$$D_n = \frac{c \cdot t_z}{2} \quad (1)$$

Определение угловых координат (β, ε или φ_n, φ_v) основывается на направленности действия РЛС, которые излучают, а, следовательно, и принимают электромагнитную энергию в определенном угле.

Зная угловые координаты и наклонную дальность до цели, можно при необходимости определить ее высоту H_u , например:

$$H_u = D_n \cos \varepsilon \quad \text{или} \quad H_u = D_n \cos \varphi_v \quad (2)$$

В параметрической (курсовой) системе координат (L_u, P_u, H_u) (рис. 5) положение цели в пространстве определяется следующими координатами:

- L_u – курсовой дальностью цели;
- P_u – параметром цели;
- H_u – высотой цели.

Оси координат системы ориентированы следующим образом:

- ось OL лежит в горизонтальной плоскости и всегда параллельна проекции вектора скорости цели \vec{V}_u на эту плоскость, а направление возрастания координаты L противоположно проекции вектора скорости цели;
- ось OP лежит в горизонтальной плоскости и перпендикулярна оси OL ;

– ось ***OH*** перпендикулярна плоскости ***LOP*** и направлена вертикально вверх.

Положение начала координат системы совпадает с точкой стояния РЛС.

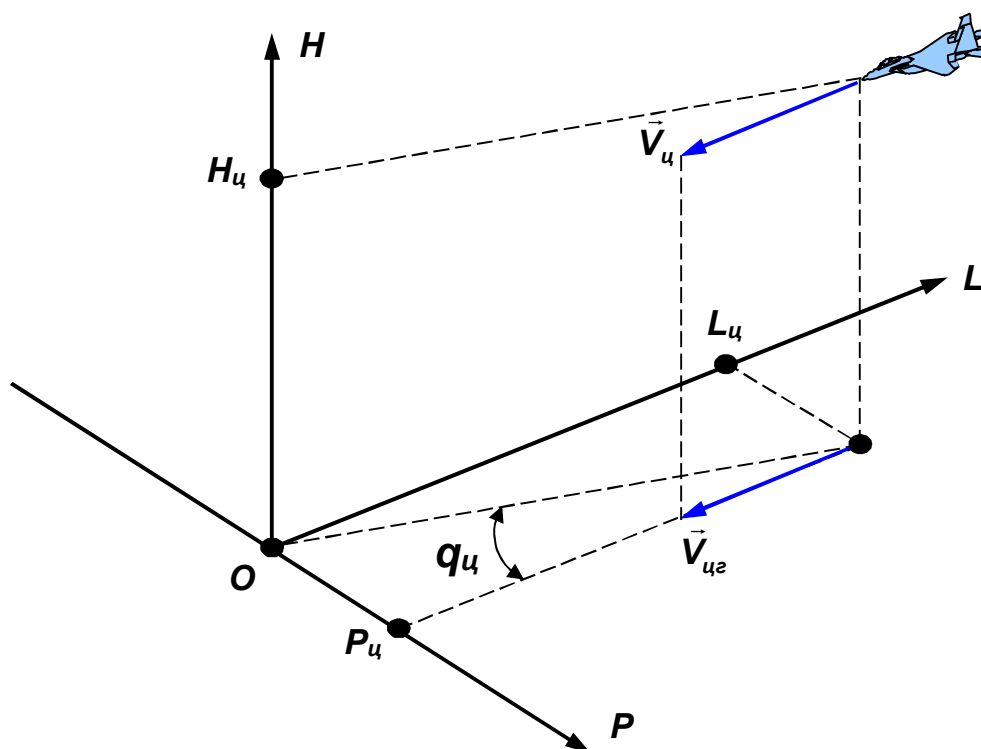


Рис. 5. Параметрическая (курсовая) система координат

Параметр движения цели P_u есть кратчайшее расстояние от начала координат до точки пересечения проекции курса цели \vec{V}_{uh} в горизонтальной плоскости с осью ***OP***.

Параметр цели может быть правым, либо левым относительно начала координат.

Курсовым углом движения цели q_u называется угол в горизонтальной плоскости между направлением проекции курса цели \vec{V}_{uh} и направлением на РЛС. Курсовой угол изменяется от 0° до 180° . Изменение курсового угла от 0° до 90° означает приближение цели, а изменение от 90° до 180° – ее удаление.

При маневре цели меняется ее курс, и оси курсовой системы координат разворачиваются таким образом, чтобы ось ***OL*** всегда оставалась

параллельной курсу цели. При этом, как правило, изменяется положение меток границ зоны поражения и точки встречи на индикаторах РЛС.

В общем виде переход от системы прямоугольных координат к другим может осуществляться по формулам аналитической геометрии.

Например, переход от прямоугольной к сферической системе координат может происходить по следующим соотношениям:

$$\begin{aligned} X &= r \cos \varepsilon \cos \beta; \\ Y &= r \sin \varepsilon; \\ Z &= r \cos \varepsilon \sin \beta, \end{aligned} \quad (4)$$

где r – радиус наклонной дальности до цели D_n .

А переход от параметрической к сферической системе, например, может происходить следующим образом:

$$\begin{aligned} P &= r \cos \varepsilon \sin q; \\ S &= r \cos \varepsilon \cos q; \\ H &= r \sin \varepsilon, \end{aligned} \quad (5)$$

где r – радиус наклонной дальности до цели D_n .

Положение ЗУР в пространстве в любой момент времени должно определяться шестью координатами: тремя координатами центра масс ракеты и тремя углами, характеризующими ориентацию ракеты относительно земной прямоугольной системы координат. Поэтому для определения ориентации ЗУР в пространстве вводят неподвижную относительно ее конструкции систему координат, которую называют *связанной системой координат* (рис. 6).

Начало связанной системы координат совпадает центром масс ракеты. Ось $OX_{св}$ направлена вдоль продольной оси ракеты, $OY_{св}$ перпендикулярна оси $OX_{св}$ и расположена в вертикальной плоскости, а ось $OZ_{св}$ перпендикулярна осям $OX_{св}$ и $OY_{св}$, образуя правую систему осей координат.

Для обеспечения неподвижности относительно планера ЗУР этой системы координат, ее оси связаны с осями рамок гироскопов гиросtabilизированной платформы ракеты. Такое расположение осей

гироскопов обеспечивает измерение углового положения гиropлатформы по трем координатам γ , β , ε относительно осей связанной системы координат, что обеспечивает необходимую стабилизацию ракеты в полете и управление ее полетом.

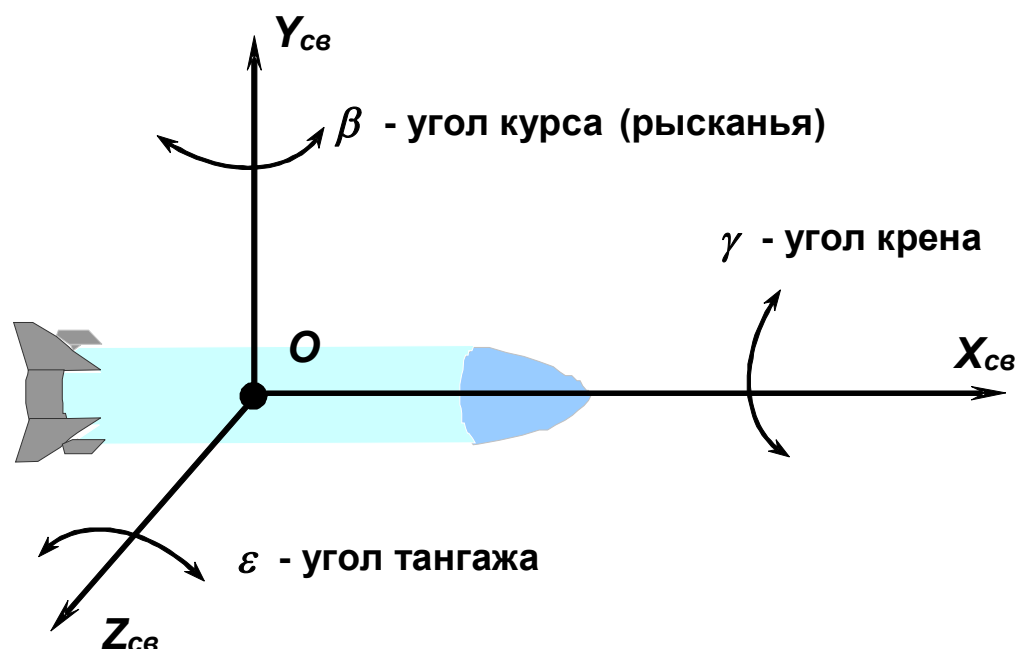


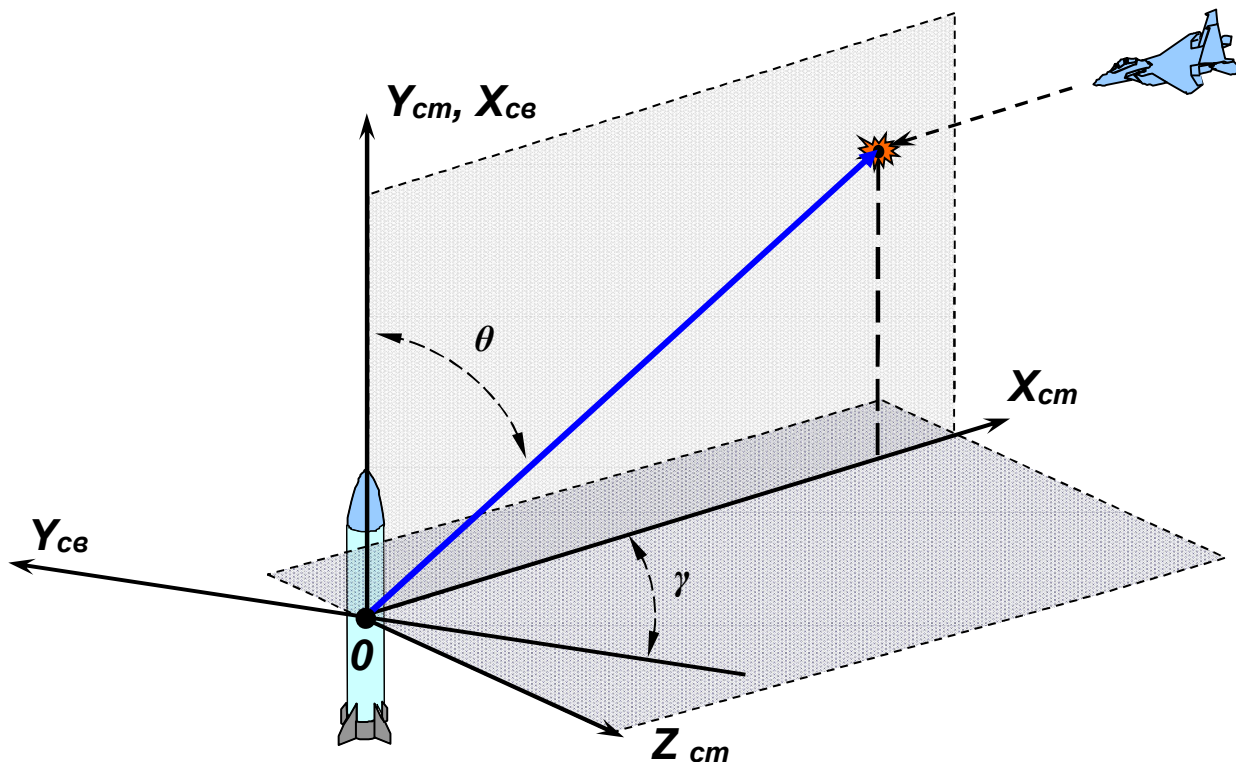
Рис. 6. Связанная система координат

Угол γ (угол крена) возникает при вращении ЗУР вокруг оси $OX_{св}$ и представляет собой угол между вертикальной плоскостью, проходящей через реальное положение продольной оси ЗУР, и осью $OY_{св}$.

Угол β (угол курса или угол рысканья) – это угол между проекцией реального положения продольной оси ЗУР на горизонтальную плоскость и исходным направлением оси $OX_{св}$. Данный угол получается путем вращения ЗУР вокруг оси $OY_{св}$.

Угол ε (угол тангажа) – это угол в вертикальной плоскости ЗУР, получаемый путем ее вращения вокруг оси $OZ_{св}$. Угол образован реальным положением продольной оси ракеты и горизонтальной плоскостью, проходящей через исходное направление оси $OX_{св}$.

Необходимые для вывода стартующей ракеты на кинематическую



траекторию метода наведения, могут осуществляться в связанной (OX_{cv} , OY_{cv} , OZ_{cv}) и стартовой (OX_{cm} , OY_{cm} , OZ_{cm}) системах координат (рис.7).

Рис. 7. Стартовая система координат

Начало *стартовой системы координат* также совпадает с центром масс ракеты, ось OY_{cm} совпадает с осью OX_{cv} , оси OX_{cm} и OY_{cm} взаимно перпендикулярны и лежат в плоскости склонения, проходящей через точку встречи ракеты с целью. Ось OZ_{cm} перпендикулярна плоскости склонения и является осью, определяющей отработку ракетой угла $\Theta_{скл}$ (угол склонения ракеты в вертикальной плоскости). Положение оси OX_{cm} в плоскости горизонта относительно оси OY_{cv} ракеты определяется углом приведения $\gamma_{скл}$ (угол склонения ракеты в горизонтальной плоскости), изменяющимся в пределах $\pm 180^\circ$.

Таким образом, после пуска, ракета летит автономно, обрабатывая углы $\gamma_{скл}$ и $\theta_{скл}$, записанные перед ее стартом в бортовую аппаратуру наведения. Это позволяет ЗУР в дальнейшем наводиться на цель, после захвата ее на сопровождение станцией сопровождения целей и наведения на них ракет.

В скоростной системе координат (OX_v, OY_v, OZ_v) (рис. 8) определяются относительные координаты ЗУР в полете, оцениваются ошибки наведения ЗУР для выработки команд управления ракетой.

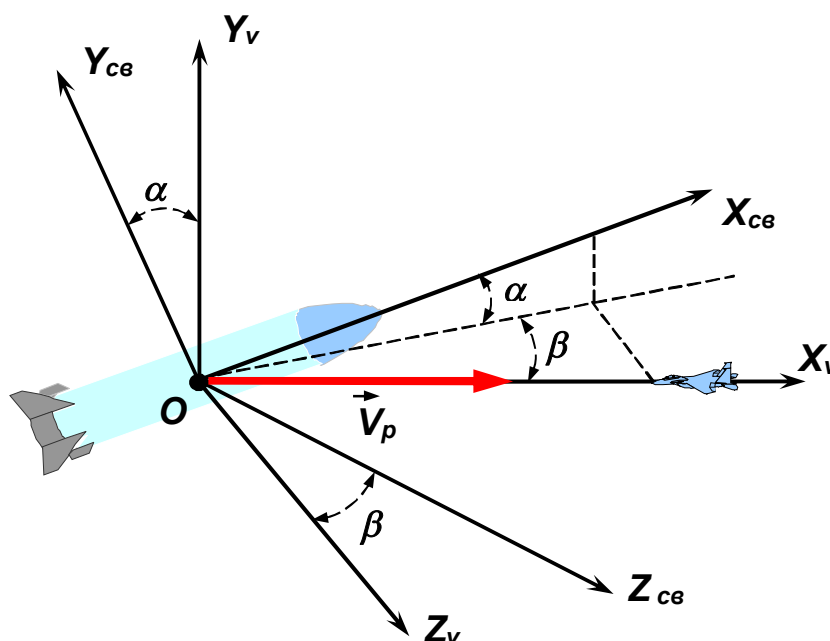


Рис. 8. Скоростная система координат

Начало координат этой системы находится в центре масс ракеты.

Ось OX_v направлена вдоль вектора скорости ЗУР, ось OY_v - вверх в вертикальной плоскости симметрии ракеты, а ось OZ_v дополняет их до правой системы координат.

Положение скоростной системы относительно связанной системы координат характеризуется углом атаки α и углом скольжения β .

Угол атаки α - это угол между проекцией вектора скорости \vec{V}_p на вертикальную плоскость симметрии ракеты и осью OX_{cv} ($\alpha > 0$, когда ось OX_{cv} расположена на проекции вектора скорости ракеты).

Угол скольжения β - это угол между вектором скорости \vec{V}_p и вертикальной плоскостью симметрии ракеты (плоскостью $OX_{св}Y_{св}$). Угол β принято считать положительным в случае, когда вектор скорости \vec{V}_p относительно вертикальной плоскости симметрии повернут вправо.

Таким образом, координаты определяют положение целей и ракет в пространстве относительно ЗРК или КПС.

Однако знать местоположение цели и ракеты в пространстве в определенный момент времени ещё недостаточно для того, чтобы получить представление, как они движутся во времени. Для этого необходимо также знать параметры их движения.

Параметрами движения воздушной цели называются величины, определяющие характер предполагаемого движения цели во времени.

Характер движения цели при равномерном и прямолинейном движении определяется *направлением и величиной скорости цели*, а в общем случае - *дополнительно производной вектора скорости по времени (ускорением)*.

Вектор скорости цели может быть задан различной системой параметров в различных системах координат.

В прямоугольной системе координат - это составляющие вектора скорости по координатам X, Y, Z , т.е. их производные $\dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z}$ (V_x, V_y, V_z), которые передаются на ЗРК вместе с прямоугольными координатами цели.

В сферической системе координат движение цели чаще всего определяется угловой скоростью $\dot{\beta}$, угловой скоростью $\dot{\epsilon}$ и радиальной составляющей скорости $\dot{D}_H = V_r$. Аналогичные параметры движения цели $\dot{D}_H, \dot{\phi}_\epsilon, \dot{\phi}_H$ используются и в биконической системе координат.

Например, составляющими вектора скорости в сферической системе координат являются:

$$\vec{V}_u = \sqrt{V_\beta^2 + V_r^2 + V_\epsilon^2} \quad (3)$$

Таким образом, знание координат и параметров движения воздушных целей и ракет в различных системах координат, используемых в ЗРС, позволяет глубже понимать процессы подготовки и стрельбы ЗУР, а, как следствие, более эффективно вести противовоздушный бой.

ЗАДАНИЕ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ

На самостоятельной подготовке студентам необходимо использовать указанную литературу, для того чтобы более подробно ознакомиться с материалом данного занятия, и дополнить свои конспекты.