

## РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СТАНЦИЯ ВОЗДУШНОГО (МОРСКОГО) БАЗИРОВАНИЯ, РАБОТАЮЩАЯ В ДИНАМИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ ВНЕШНИХ УСЛОВИЯХ

---

**Abstract:** In article influence of dynamically complex conditions on work of a two-coordinate of radar station of the circular review of air (sea) basing is considered. The mathematical model of work of antenna radar is resulted. As a result of researching the work of computer model of the antenna the factors influencing on work radar station are determined. It is shown, that it is necessary to consider these factors at application radar station for the decision of modern tasks of system of supervision and the control of surface conditions over a sea economic zone.

**Key words:** system of supervision and the control of surface conditions, radar of the circular review, air basing, sea basing, the antenna, dynamically complex conditions, mathematical model, factors of influence.

**Анотація:** У статті розглядається вплив динамічно складних умов на роботу двокординатної радіолокаційної станції (РЛС) кругового огляду повітряного (морського) базування. Наведено математичну модель роботи антени РЛС. У результаті дослідження роботи комп'ютерної моделі антени визначені фактори, що впливають на роботу РЛС. Показано, що необхідно враховувати ці фактори при застосуванні РЛС для рішення сучасних завдань системи спостереження й контролю надводної обстановки в морській економічній зоні.

**Ключові слова:** система спостереження й контролю надводної обстановки, радіолокаційна станція кругового огляду, повітряне базування, морське базування, антена, динамічно складні умови, математична модель, фактори впливу.

**Аннотация:** В статье рассматривается влияние динамически сложных условий на работу двухкоординатной радиолокационной станции (РЛС) кругового обзора воздушного (морского) базирования. Приведена математическая модель работы антенны РЛС. В результате исследования работы компьютерной модели антенны определены факторы, влияющие на работу РЛС. Показано, что необходимо учитывать эти факторы при применении РЛС для решения современных задач системы наблюдения и контроля надводной обстановки в морской экономической зоне.

**Ключевые слова:** система наблюдения и контроля надводной обстановки, радиолокационная станция кругового обзора, воздушное базирование, морское базирование, антенна, динамически сложные условия, математическая модель, факторы влияния.

### 1. Введение

Современные задачи системы наблюдения и контроля надводной обстановки морского пограничного пространства и побережья существенно усложнились в сравнении с советской системой охраны границы и морского пространства. В настоящее время система наблюдения и контроля надводной обстановки будет использоваться при решении задач по борьбе с нелегальной миграцией, контролю за рыболовством и борьбе с браконьерством, противодействия терроризму, трансграничной преступности, незаконного оборота наркотиков и оружия. Следует предполагать активное применение системы при спасении людей на море и при экологическом контроле в прибрежной акватории. Область действия системы должна охватывать не только территориальные воды, но и морскую экономическую зону (прилегающую к территориальному морю полосу открытого моря шириной до 200 миль). Все это выдвигает повышенные требования к техническим средствам контроля и наблюдения.

Обычно для этих целей применяются двухкоординатные радиолокационные станции кругового обзора сантиметрового диапазона с излучением зондирующего сигнала типа простой импульсный сигнал малой длительности и большой скважности. Станции могут быть расположены как на берегу, так и на кораблях, и работать как в автономном режиме, так и в системе сбора

информации, наблюдения и контроля надводной обстановки. Как следует из параметров таких станций, приведенных в [1], предельная радиолокационная дальность обнаружения целей не больше 96 миль. Но это является не более и не менее как рекламным объявлением о том, что параметры станции рассчитаны на прием и обработку радиолокационных сигналов в указанном диапазоне.

В однородных средах радиоволны распространяются прямолинейно с постоянной скоростью, подобно световым лучам (радиолучи). Поэтому обнаружение целей зондирующими импульсами сантиметрового диапазона длин волн возможно, в основном, только в пределах радиогоризонта, т.е. расстояния прямого прохождения радиоволн с учетом шарообразности земной поверхности. Кроме этого, на распространение радиоволн вблизи поверхности земли влияет неоднородность среды распространения, в частности, вертикальные изменения в показателе преломления атмосферы [2]. По причине рефракции радиоволны проходят по изогнутым путям в вертикальной плоскости. Величина кривизны пути меняется со временем из-за изменения давления, температуры и влажности. При нормальных условиях распространения траектория радиолуча изгибается так, что имеет форму дуги, выгнутой к морю, и благодаря этому радиогоризонт расширяется. Как влияет состояние атмосферы на прохождение радиоволн, в качестве примера, можно привести результаты опытной эксплуатации береговой РЛС [1]. Всего несколько дней в году в результате аномального распространения радиоволн наблюдалось устойчивое обнаружение и автоматическое сопровождение объектов с определением их параметров движения на расстоянии свыше 50 миль (это могут подтвердить записанные сеансы работы РЛС, но, к сожалению, полиграфическая база не позволяет привести их здесь). В остальное время обнаружение и автоматическое сопровождение объектов редко когда превышало 30 миль. Это говорит о том, что являются актуальным решение задачи устойчивого, всепогодного увеличения дальности обнаружения и сопровождения объектов РЛС. При этом решение должно быть с экономически обоснованными затратами на разработку и эксплуатацию системы наблюдения и контроля надводной обстановки морского пограничного пространства и побережья.

## **2. Постановка задачи**

Обычно для контроля территориальных вод применяют береговые, а морской экономической зоны – расположенные на судах РЛС кругового обзора в основном сантиметрового диапазона на борту и/или самолеты и вертолеты с радиолокационными и оптическими средствами наблюдения и контроля на борту.

В случае патрулирования контролируемой зоны морскими судами, РЛС может обнаруживать объекты, как правило, в пределах радиогоризонта и к тому же работать в динамически сложных условиях волнения моря. Для успешного решения современной задачи наблюдения и контроля необходимо вести непрерывный мониторинг всей экономической зоны. Это возможно только в случае полного радиолокационного покрытия зоны, что требует больших технических и экономических затрат в связи с тем, что РЛС надежно выполняют свои функции только в пределах, ограниченных зоной радиовидимости.

Авиационные и космические средства наблюдения и контроля позволяют за небольшое время облететь контролируемые территории. Современные средства связи обеспечивают передачу информации в реальном масштабе времени в центр сбора информации и контроля для принятия решения. К сожалению, авиационные и космические средства наблюдения и контроля не рассчитаны на ведение постоянного мониторинга морской территории, что затрудняет выполнение современных задач, стоящих перед системой сбора и наблюдения за надводной обстановкой морского пограничного пространства.

Одним из возможных вариантов решения данной задачи является применение загоризонтных РЛС метрового диапазона берегового базирования [3]. Дальность радиолокационного обнаружения объектов у таких РЛС не менее 200 миль. РЛС представляют собой сложные радиотехнические комплексы. Известно, что информативность радиолокационной системы зависит от частоты работы РЛС как  $f^3$ . Отсюда следует, что информативность радиолокационной системы метрового диапазона длин волн на несколько порядков меньше, чем радиолокационной системы сантиметрового диапазона.

Расстояние до радиогоризонта зависит от высоты установки антенны. Теоретический радиус радиогоризонта  $D$  (в км) вычисляется по формуле  $D = 4,124\sqrt{H}$ , где  $H$  – высота расположения антенны в метрах. На рис. 1 приведен график зависимости радиуса радиогоризонта от высоты установки антенны. Если объект имеет высоту, то расстояние до радиогоризонта

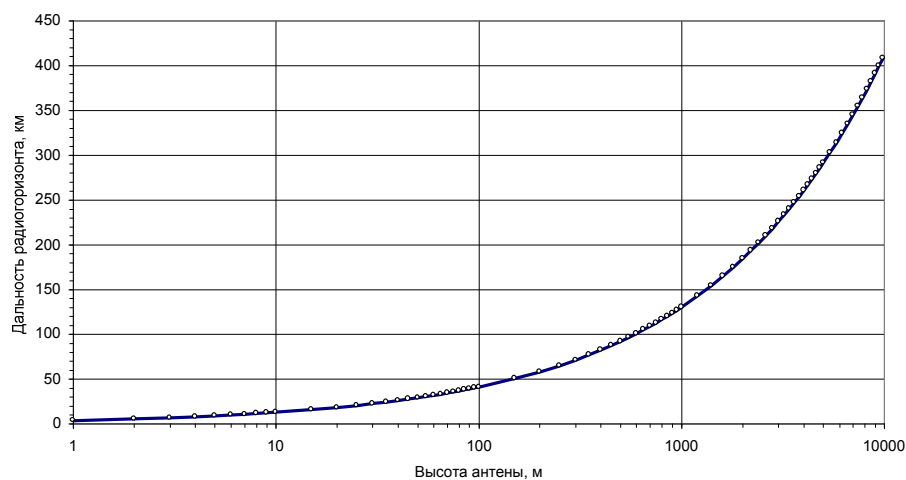


Рис. 1. Зависимость дальности радиогоризонта от высоты антенны

с объектом определяется как сумма расстояний от местонахождения антенны и объекта до радиогоризонта. Как следует из графика, для того, чтобы расстояние до радиогоризонта соответствовало техническим параметрам применяемых РЛС, необходимо поднять антенну на высоту не менее чем на 1800 метров. Это означает, что на такой высоте антенный блок или РЛС может находиться только на борту летательного аппарата (ЛА). В последние годы во всем мире резко усилился интерес к использованию ЛА для решения задач государственной, общественной и экологической безопасности. Еще одним фактором, повлиявшим на рост интереса к этим вопросам, стал качественный скачок в развитии авиационной техники, удешевление самих ЛА. На новом витке своего развития вернулись в небо построенные из новейших материалов ЛА легче воздуха (дирижабли и аэростаты). Так, в НПО "РосАэроСистемы" [4] разработан ряд дирижаблей и

аэростатов различного назначения. Из этого ряда следует выделить привязные аэростаты, которые разработаны как платформы-носители радиолокационных станций дальнего обнаружения. Как указано в проспекте, круглосуточное радиолокационное наблюдение может осуществляться на высоте до 3000 м в течение 30-35 дней без посадки аэростата, т.е. параметры аэростата удовлетворяют требованиям, вытекающим из специфики применения его в системе наблюдения и контроля за надводной обстановкой.

Учитывая большую парусность ЛА, воздушные потоки будут не только перемещать ЛА в горизонтальной плоскости, но и вызывать колебания ЛА в разных плоскостях. Это приведёт к тому, что размещенная на ЛА РЛС или антенный блок будут работать в динамически сложных условиях. Следует заметить, что РЛС, размещенная на судне, также работает в динамически сложных условиях, вызванных волнением моря. Обычно для устранения влияния внешних факторов на работу устройств с небольшим весом применяют гиростабилизированные платформы. В нашем случае внушительные размеры обтекателя антенного блока вместе с приемо-передатчиком и способ подвеса антенны усложняют, а то и вообще не позволяют применить гиростабилизированную платформу. В связи с этим является актуальным решение задачи определения факторов, влияющих на работу двухкоординатной РЛС кругового обзора морского и воздушного базирования в динамически сложных условиях, с целью учета их влияния в работе РЛС.

### 3. Уравнения движения объекта в динамически сложных условиях

Для решения поставленной задачи прежде всего необходимо иметь математическое описание движения объекта с РЛС на борту в динамически сложных условиях. Под объектом подразумевается ЛА (дирижабль или аэростат) или морское судно. Структура и форма уравнений движений объекта как любого твердого движущегося тела зависит от той системы координат, в которой рассматривается это движение. Поэтому систему координат следует выбирать таким образом, чтобы уравнения движения объекта имели наиболее простой вид и были удобны для применения. Оперативный учет движения объекта при работе РЛС осуществляется в ограниченных временных и пространственных интервалах окрестности произвольной точки криволинейной траектории маршрута. Поэтому при учете движения объекта можно рассматривать перемещение объекта относительно „плоской и неподвижной” Земли и использовать прямоугольные системы координат.

Первая из них – земная базовая система координат  $O_{g_0} X_{g_0} Y_{g_0} Z_{g_0}$ . Эта система координат ориентирована по основным направлениям на поверхности Земли. Начало системы координат  $O_{g_0}$  фиксировано и связано с некоторой точкой на поверхности Земли, принадлежащей маршрутной траектории объекта. Ось  $O_{g_0} X_{g_0}$  расположена в плоскости горизонта и всегда направлена на север. Направление остальных осей выбирается таким образом, чтобы система координат была правой (рис. 2).

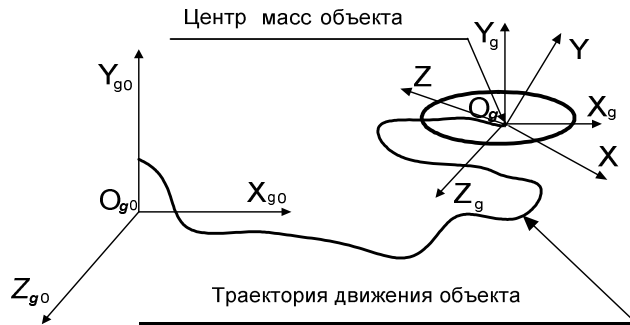


Рис. 2. Земная базовая, полусвязанная неподвижная и связанная системы координат

Вторая координатная система  $O_g X_g Y_g Z_g$  – полусвязанная неподвижная система координат. Она характеризуется тем, что ее начало всегда совмещено с центром масс объекта и перемещается с ним в пространстве. Координатные оси полусвязанной системы координат либо параллельны соответствующим осям базовой системы координат (рис. 2), либо повернуты в горизонтальной плоскости на постоянный угол курса объекта.

Третья координатная система  $O_g XYZ$ , используемая при математическом описании движения объекта, полностью связана с корпусом и вращается вместе с ним. Поэтому такая система получила название подвижной или связанной системы координат. Чаще всего, ее начало совмещают с центром масс объекта. Ось  $O_g X$  совмещена с продольной осью объекта и направлена в сторону его носовой оконечности. Ось  $O_g Y$  перпендикулярна оси  $O_g X$  и направлена вверх. Плоскость  $O_g XY$  называется диаметральной плоскостью объекта. Ось  $O_g Z$  перпендикулярна диаметральной плоскости объекта, а ее положительное направление выбирают таким образом, чтобы система координат была правой (рис. 2).

Ориентация связанной системы координат  $O_g X Y Z$  относительно полусвязанной неподвижной системы координат  $O_g X_g Y_g Z_g$  определяется тремя углами Эйлера,  $\varphi$ ,  $\psi$  и  $\theta$ , которые соответственно называются углом рыскания, углом дифферента и углом крена.

Углом рыскания  $\varphi$  называется угол между осью  $O_g X_g$  и проекцией оси  $O_g X$  связанной системы координат на горизонтальную плоскость  $O_g Z_g$  (рис. 3). Углом дифферента  $\psi$  называется угол между горизонтальной плоскостью  $O_g X_g Z_g$  и продольной осью  $O_g X$  объекта (рис. 3). Углом крена  $\theta$  называется угол между вертикальной плоскостью  $O_g X_g Y_g$  и диаметральной плоскостью объекта  $O_g XY$  (рис. 3). Углы Эйлера независимы между собой, то есть при изменении одного из них два других не изменяются.

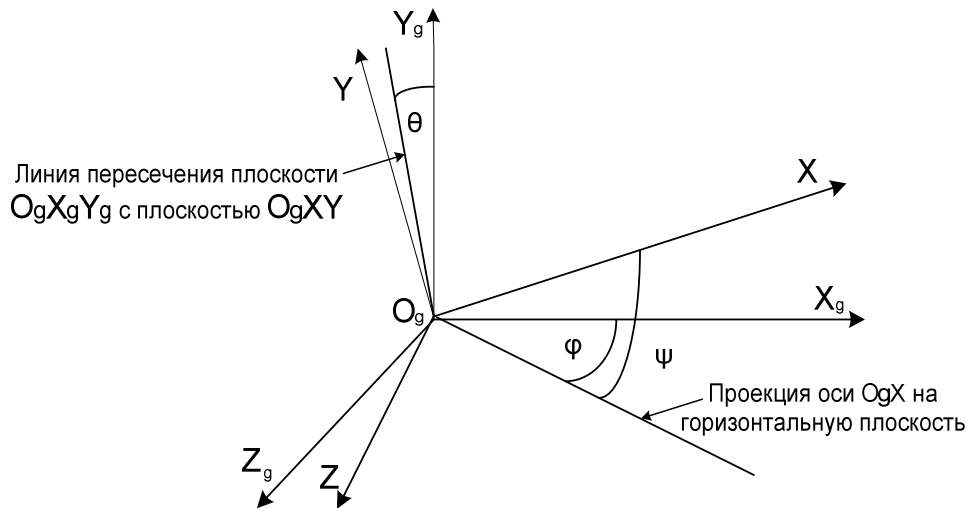


Рис. 3. Углы рыскания, дифферента и крена

Заданную угловую ориентацию объекта в связанной системе координат относительно осей полусвязанной системы координат можно получить, выполнив три последовательных поворота, которые следует проводить в предположении, что в начальный момент углового движения объекта координатные оси  $O_g X_g Y_g Z_g$  и  $O_g X Y Z$  совпадали. Математически это описывается следующим образом. Пусть  $\bar{r}_g = \{x_g, y_g, z_g\}$  – координаты произвольной точки в полусвязанной системе координат,  $\bar{r} = \{x, y, z\}$  – координаты той же точки в связанной системе. Векторы  $\bar{r}$  и  $\bar{r}_g$  связаны один с другим следующим соотношением:

$$\bar{r} = A_\theta(\theta) \times A_\psi(\psi) \times A_\varphi(\varphi) \times \bar{r}_g, \quad (1)$$

где  $A_\theta(\theta)$  – матрица поворота объекта на угол крена

$$A_\theta(\theta) = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{vmatrix}; \quad (2)$$

$A_\psi(\psi)$  – матрица поворота объекта на угол дифферента

$$A_\psi(\psi) = \begin{vmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}; \quad (3)$$

$A_\varphi(\varphi)$  – матрица поворота объекта на угол рыскания

$$A_\varphi(\varphi) = \begin{vmatrix} \cos \varphi & 0 & -\sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{vmatrix}. \quad (4)$$

После перемножения матриц получаем соотношение

$$A = \begin{vmatrix} \cos\phi \cdot \cos\varphi & \sin\phi & -\cos\phi \cdot \sin\varphi \\ (\sin\theta \cdot \sin\varphi - \cos\theta \cdot \sin\phi \cdot \cos\varphi) & (\cos\theta \cdot \cos\phi) & (\sin\theta \cdot \cos\varphi + \cos\theta \cdot \sin\phi \cdot \sin\varphi) \\ (\cos\theta \cdot \sin\varphi + \sin\theta \cdot \sin\phi \cdot \cos\varphi) & (-\sin\theta \cdot \cos\phi) & (\cos\theta \cdot \cos\varphi - \sin\theta \cdot \sin\phi \cdot \sin\varphi) \end{vmatrix}, \quad (5)$$

где  $A = A_\theta(\theta) \times A_\psi(\psi) \times A_\varphi(\varphi)$  – матрица преобразований векторных величин, заданных в полусвязной системе координат  $O_g X_g Y_g Z_g$  в векторные величины в связанной системе координат  $O_g X Y Z$ . Использование связанной системы координат для записи уравнений движения объекта обусловлено следующими обстоятельствами:

1. Основные внешние силы, действующие на объект, ориентированы по отношению к корпусу объекта и наиболее просто выражаются в осях связанной системы координат.

2. Измерительная аппаратура и датчики параметров движения объекта находятся на борту. Поэтому информация об особенностях движения объекта, которая будет использоваться при работе РЛС, также представляется в связанной системе координат.

Учитывая жесткую привязку антенны РЛС к объекту, движение объекта в динамически сложных условиях оказывает влияние на работу РЛС через изменение условий работы антенны. Для оценки степени этого влияния прежде всего рассмотрим математическое описание движения антенны с учетом внешних условий.

#### 4. Модель движения антенны РЛС с учетом влияния внешних факторов

Работа РЛС в стационарных условиях (береговой вариант) характеризуется жесткой привязкой положения антенны к местности. Плоскость вращения антенны считается параллельной плоскости горизонта. Географические координаты центра вращения антенны известны. Начало отсчета угла поворота антенны фиксировано относительно севера. Антенна вращается с постоянной скоростью. Обработка и отображение радиолокационной информации в РЛС выполняются в неподвижной полярной системе координат.

При установке антенны на объекте привязка ее положения осуществляется по отношению к горизонтальной плоскости (которую условно будем считать палубой). Плоскость вращения считается параллельной палубе. Начало отсчета угла поворота совпадает с направлением от центра палубы к носу (т.е. совпадает с курсом объекта). Координаты центра вращения определяются текущими координатами объекта. Обработка и отображение радиолокационной информации в РЛС выполняются в полусвязанной неподвижной полярной системе координат.

Движение объекта в динамически сложных условиях на работу РЛС проявляется главным образом в смещении центра вращения антенны, вызванного движением объекта, и в отклонении плоскости вращения антенны от горизонтального положения, вызванного дифферентом и креном. Кроме того, дифферент и крен вызывают горизонтальное смещение центра вращения антенны. В реальных условиях это смещение относительно невелико и не превышает погрешности измерения дальности. В дальнейших рассуждениях оно не учитывается, т.е. считается, что получаемые от навигационного комплекса координаты непосредственно определяют позицию центра вращения антенны. Есть еще один фактор, способный внести погрешность в результаты работы РЛС. Это

отклонение вертикальной диаграммы направленности антенны от вертикали при внешних воздействиях на объект. Влияние этого фактора также игнорируется в дальнейшем, поскольку оно заведомо небольшое по сравнению с влиянием отклонения плоскости вращения.

При наличии навигационного комплекса текущие значения координат и курс объекта в любой момент известны. В этом случае не трудно убедиться, что с точки зрения обработки и отображения радиолокационной информации работа РЛС принципиально ничем не отличается от берегового варианта при отсутствии внешних воздействий, вызывающих крен и дифферент объекта. Это является следствием применения в РЛС полусвязанной неподвижной системы координат. Следует заметить, что при наличии датчика угла рыскания задачу учета его влияния можно свести к задаче оперативного уточнения курса объекта.

Направление радиолуча измеряется в связанной системе координат, потому что антенна РЛС жестко связана с объектом. Это означает, что необходимо выполнить преобразование параметров, определяющих направление радиолуча из связанной системы координат в полусвязанную. Следует заметить, что преобразование рассматривается в предположении, что центр вращения антенны находится в начале координат. Связь между координатами произвольной точки в полусвязанной системе координат и координатами той же точки в связанной системе координат определяется при помощи следующего выражения:

$$\bar{r}_g = A_\varphi^{-1}(\varphi) \times A_\psi^{-1}(\psi) \times A_\theta^{-1}(\theta) \times \bar{r}, \quad (6)$$

где  $A_\theta^{-1}(\theta)$ ,  $A_\psi^{-1}(\psi)$ ,  $A_\varphi^{-1}(\varphi)$  – матрицы, обратные  $A_\theta(\theta)$ ,  $A_\psi(\psi)$ ,  $A_\varphi(\varphi)$ .

Поскольку поступающую с антенны радиолокационную информацию принято представлять угловыми координатами в плоскости вращения, то значения координат точки  $x$ ,  $y$ ,  $z$  имеют следующий вид:

$$\begin{cases} x = D \sin(\alpha) \\ y \equiv 0 \\ z = D \cos(\alpha) \end{cases}, \quad (7)$$

где  $\alpha$  – азимут радиолуча, измеренный в блоке измерения антенны (т.е. в связанной системе координат);  $D$  – расстояние до произвольной точки, расположенной по ходу радиолуча. Это так называемые „измеренные“ координаты (азимут измеряется относительно курса). Соотношения (6) и (7) позволяют вычислить „истинные“ координаты  $D_0$  и  $\alpha_0$  произвольной точки в проекции на плоскость  $y_g = 0$  полусвязанной системы координат при условии, что  $D_0 = D$ . В этом случае „истинное“ направление радиолуча  $\alpha_0$  в горизонтальной плоскости в полусвязанной системе координат определяется как

$$\alpha_0 = \arctg\left(\frac{x_g}{z_g}\right), \quad (8)$$

а угол  $\beta$  между горизонтальной плоскостью и плоскостью вращения антенны в направлении радиолуча определяется из следующего выражения:



$$\beta = \arcsin\left(\frac{y_g}{\sqrt{x_g^2 + y_g^2 + z_g^2}}\right). \quad (9)$$

Таким образом, решена основная задача, стоящая перед обработкой и отображением радиолокационной информации в РЛС при переходе от берегового варианта к варианту расположения на объекте – вычисление истинных координат произвольной точки в направлении радиолуча, а также вычисление угла наклона радиолуча, определяющего так называемую зону видимости антенны, исходя из известных значений координат, курса объекта, углов дифферента, крена и рыскания.

Углы дифферента, крена и рыскания имеют относительно небольшие величины, а формулы (6), (7), (8) являются довольно сложными для того, чтобы аналитически оценить степень влияния их на положение радиолуча (изменение углового направления и угла наклона радиолуча). Для количественной оценки влияния дифферента и крена на работу РЛС и выработки рекомендаций по учету этого влияния была разработана компьютерная модель работы антенны в динамически сложных условиях и выполнено компьютерное моделирование с целью определения зависимости параметров движения антенны от крена и дифферента объекта.

## 5. Результаты моделирования движения антенны в динамически сложных условиях

В соответствии со стандартом Международной морской организации (ИМО) [5] предъявляются следующие минимальные требования к РЛС, применяемым для обеспечения безопасности движения, при условии, что антенна установлена на высоте 15 метров над уровнем моря. Должны быть предусмотрены средства определения пеленга, обеспечивающие точность измерения цели, эхо-сигнал которой появляется на краю экрана, не хуже  $\pm 1^\circ$  при условии, что судно испытывает бортовую или килевую качку не более  $\pm 10^\circ$ . В связи с этим в существующих РЛС применяется антенна с диаграммой направленности в вертикальной плоскости не менее  $20^\circ$ . Результаты моделирования подтвердили тот факт, что при диаграмме направленности антенны в  $20^\circ$  выполняется требование ИМО по точности измерения пеленга.

На рис. 4 приведены результаты моделирования одновременно действующих бортовой и килевой качек в  $\pm 10^\circ$  на объект. В качестве результатов приведены вычисленные „истинные” значения  $\alpha_0$  и  $\beta$  (правый круг). Каждому значению  $\alpha$  от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  соответствует радиальный луч. В правом круге также изображается зона видимости антенны. Приведены графики изменения  $\Delta\alpha = \alpha_0 - \alpha$  и  $\beta$  в диапазоне от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  (справа внизу). Кроме того, на рисунке показано условное изображение крена и дифферента в виде смещения антенны при взгляде сверху (левый круг). На рисунке слева внизу приведена кривая, характеризующая динамику изменения  $\Delta\alpha$  и  $\beta$  для фиксированного значения азимута  $\alpha$ . Горизонтальная координата кривой пропорциональна  $\Delta\alpha$ , а вертикальная  $\beta$ . Как следует из приведенных результатов, отклонение „истинного” направления радиолуча от „измеренного” достигает почти  $\pm 2^\circ$ , т.е. не выполняется требование ИМО.

Periods: Antenne=3.00 sec Tangage=10.00 sec Heel=8.00 sec  
Amplitudes: Tangage=10.00° Heel=10.00°

H=15.0m, R=1000.0m, A{ant.}=±10.00°

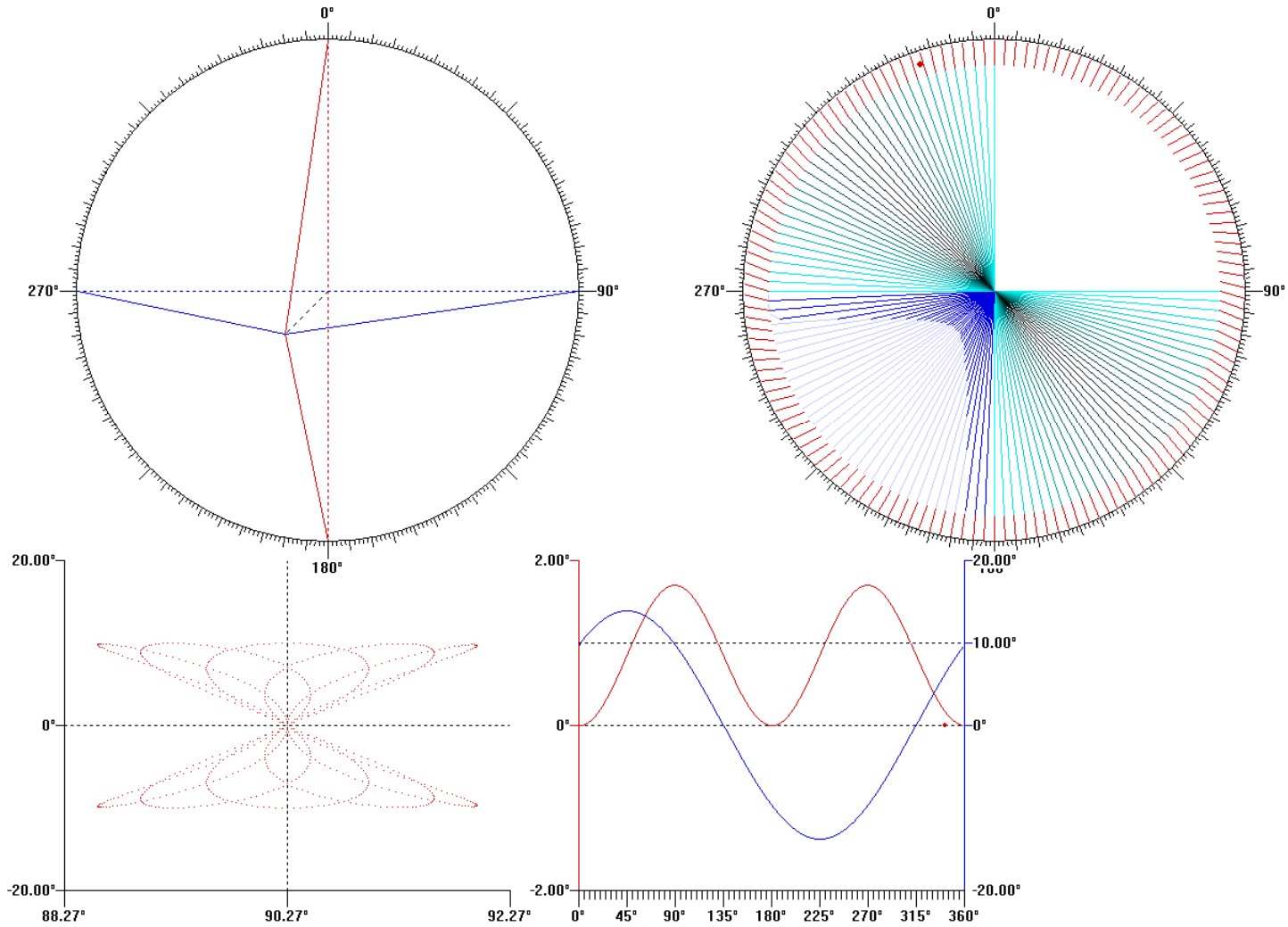


Рис. 4. Результат моделювання: дифферент 10°, крен 10°

Кроме того, нижняя граница вертикальной диаграммы направленности антенны проходит выше линии радиогоризонта (рис. 4).

На основании результатов, полученных при моделировании движения антенны в динамически сложных условиях, сделан вывод о том, что двухкоординатная РЛС кругового обзора, применяемая для обеспечения безопасности движения на море, не удовлетворяет требованиям, вытекающим из непрерывного мониторинга территориальных вод и морского экономического пространства. В применяемой для мониторинга РЛС кругового обзора должны быть учтены следующие факторы, вызванные внешними условиями.

Влияние внешних факторов на направление радиолуча. Изменение направления радиолуча учитывается вычислением „истинного” направления по формулам (6), (7), (8). Кроме того, наличие крена, дифферента и рыскания проявляется на работе антенны в виде неравномерности вращения. Это показано на рис. 4 (правый круг). Неравномерность вращения антенны может быть учтена только в алгоритмах обработки и отображения радиолокационной информации.

Влияние внешних факторов на изменение угла наклона радиолуча. Угол наклона радиолуча определяет зону радиовидимости антенны. Из результатов моделирования следует, что нижняя граница вертикальной диаграммы направленности может проходить выше радиогоризонта или верхняя граница диаграммы направленности будет упираться в поверхность моря или суши (рис. 4). В первом случае отраженный от цели сигнал будет слабым и поэтому полезный сигнал необходимо обнаруживать на фоне шумов. Во втором случае отраженный от моря или суши сигнал будет настолько сильным, что полезный сигнал необходимо обнаруживать среди отраженных сигналов от моря или суши. Это обусловлено тем, что в приемнике для усиления радиолокационного сигнала используется логарифмический усилитель. Кроме того, изменение угла наклона радиолуча в динамически сложных условиях приводит к тому, что уровень отраженного сигнала является переменным как по направлению вращения антенны, так и по направлению распространения радиолуча. Учет влияния этого фактора возможен только на уровне разработки соответствующих алгоритмов обработки и отображения радиолокационной информации.

В случае РЛС воздушного базирования следует учитывать еще один фактор. При работе РЛС воздушного базирования радиолуч распространяется не параллельно линии горизонта, как в случае берегового или морского базирования, а под углом. Это означает, что на большом расстоянии полезный сигнал необходимо обнаруживать среди отраженных сигналов от моря или суши. Обычно для устранения влияния этого фактора в приемнике РЛС берегового и морского базирования применяют временную регулировку усиления (ВАРУ). Учитывая, что при работе РЛС воздушного базирования зона действия отраженного сигнала от моря или суши значительно больше, чем в случае берегового или морского базирования, возникает необходимость разработки приемника радиолокационных сигналов с ВАРУ, удовлетворяющего требованиям, предъявляемым к РЛС воздушного базирования.

Кроме аппаратного решения, влияние этого фактора должно быть учтено на уровне разработки соответствующих алгоритмов обработки и отображения радиолокационной информации.

## 6. Заключение

Решение современных задач системы наблюдения и контроля надводной обстановки территориальных вод и морской экономической зоны требует новых подходов к разработке и применению технических средств реализации такой системы. В данной работе выполнено исследование факторов, влияющих на работу двухкоординатной РЛС кругового обзора, расположенной на движущемся объекте в динамически сложных условиях. В качестве движущегося объекта рассматривается морское судно, дирижабль или аэростат. Показано, что применение дирижаблей или аэростатов в качестве носителя РЛС значительно расширяет зону действия РЛС, в частности, позволяет организовать непрерывный мониторинг морской экономической зоны. Разработана математическая модель движения антенны в динамически сложных условиях. Выполнено моделирование работы антенны на компьютерной модели. Установлено, что для эффективного применения РЛС морского и воздушного базирования в непрерывном мониторинге морского экономического пространства необходимо учесть ряд требований, вытекающих из специфики работы РЛС на движущихся объектах. Сформулированы задачи, которые должны быть решены при разработке двухкоординатной РЛС морского и воздушного базирования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волобоев В.П., Клименко В.П., Лосев В.Д. Компьютерная система обработки сигналов, управления, отображения и контроля двухкоординатной радиолокационной станции кругового обзора // Математичні машини і системи. –2005. – № 3. – С. 67–80.
2. Критерии прямой видимости (по материалам компании Alcatel). <http://members.tripod.com/telecomproject/libr.htm>.
3. Береговой загоризонтный радар поверхностной волны (БЗГР) «Подсолнух-Э» коротковолнового диапазона радиоволн. <http://niidar.rasu.ru/prod139>.
4. НПО "РосАэроСистемы" на 3 международном форуме "Высокие технологии оборонного комплекса" представило проекты высокотехнологичных дирижабельных систем. <http://www.avias.com/news/2002/04/29/27378.html>.
5. Международные документы по устройству и применению РЛС: Резолюции ИМО: А. 422(11), А. 477(12), А. 482(12), А. 483(12), А. 694(12), А. 820(19), А. 823(19). MSC 64(67).