УДК 621.396

ВЛИЯНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО УКЛОНА МЕСТНОСТИ НА ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАРАМЕТР КУРСОВОГО РАДИОМАЯКА ILS

А.В. Зотов, Б.В. Жданов, Н.И. Войтович

Представлено обобщение модели курсового маяка, приведённой в ранее опубликованной статье (Войтович Н.И., Жданов Б.В., Зотов А.В. Моделирование работы двухчастотной системы посадки самолётов, 2013). В упомянутой статье предполагалось, что курсовой радиомаяк (КРМ) расположен на подстилающей поверхности в виде горизонтальной плоскости, безграничной во всех направлениях. Влияние Земли в этом случае учитывается интерференционным множителем Земли. Тогда пространственная диаграмма направленности антенны КРМ представляется произведением двух функций, одна из которых зависит только от азимутального угла, другая – от меридионального угла. Поэтому было удобно рассматривать интересующие величины как функции только от азимутального угла. В данной работе мы предположим, что антенная решётка излучающих элементов антенны КРМ расположена горизонтально, а подстилающая поверхность в области, существенной для отражения радиоволн (в области первой зоны Френеля на подстилающей поверхности), представляет собой участок плоскости с поперечным уклоном по отношению к направлению оси взлётно-посадочной полосы (ВПП). Из-за отсутствия осевой симметрии задачи разделить зависимости интересующих величин от азимутального и меридионального углов не представляется возможным.

Ключевые слова: моделирование, курсовой радиомаяк, глиссадный радиомаяк, разность глубин модуляции, эффект захвата.

Введение

В настоящее время основным средством обеспечения инструментального захода самолётов на посадку на аэродромы гражданской авиации являются радиомаячные системы посадки метрового диапазона волн формата ILS, включающие в себя курсовой радиомаяк (КРМ) и глиссадный радиомаяк (ГРМ). В соответствии с требованиями норм ИКАО [1] и норм проектирования объектов посадки [2, 3] КРМ размещается на продолжении оси ВПП со стороны направления, противоположного стороне захода на посадку, на расстоянии 400–1150 м от порога ВПП (в зависимости от длины ВПП, рельефа местности и других местных условий). Рекомендуется устанавливать курсовые радиомаяки таким образом, чтобы обеспечивалась прямая видимость между электрическим центром антенны и опорной точкой (точкой на высоте 15 м над порогом ВПП).

В плане лётное поле аэродрома окаймляют боковые и концевые полосы безопасности взлёта и посадки. Концевые полосы безопасности (КПБ) уменьшают опасность аварии в случаях выкатывания самолёта за пределы лётной полосы при посадке. Длина концевой полосы безопасности для аэродромов ГА составляет обычно не менее 400 м. Концевую полосу безопасности по ширине делают равной общей ширине лётного поля. Таким образом, перед позицией для установки КРМ на расстоянии более 400 м оказываются складки местности с формой и покровом в естественном состоянии, которые далее переходят в выровненную поверхность упомянутой КПБ.

Формирование линии курса (а также глиссады) происходит с участием радиоволн, отражённых от подстилающей поверхности. В связи с тем, что углы места, под которыми происходит отражение радиоволн в направлении на снижающийся самолёт малы, а поляризация поля излучения горизонтальная, то отражение радиоволн от земной поверхности можно полагать эквивалентным излучению зеркального отображения антенны. Для обеспечения точностных характеристик КРМ перед антенной традиционно выравнивают площадку с размерами в плане примерно 300×200 м^2. При инженерной подготовке площадки ей придают некоторый уклон для обеспечения стока с неё воды. Как правило, при благоприятной обстановке в отношении местных предметов в зоне действия КРМ инженерная подготовка местности предполагается достаточной для обеспечения выходных параметров КРМ по заданной категории посадки.

Реальная обстановка такова, что на некоторых аэродромах выполнение требований норм [2, 3] проектирования объектов посадки сопряжено с необходимостью выполнения большого объёма дорогостоящих земляных работ. В частности, это наблюдается в том случае, когда местность в естественном состоянии имеет большой (порядка 2°) поперечный уклон. В то же время в литературе нет информации по влиянию уклона подстилающей поверхности, поперечного по отношению к оси ВПП. Соответственно, нет ясности в вопросе о допустимости или недопустимости уклонов большей величины, чем это требуют нормы [2, 3].

Настоящая статья посвящена устранению этого пробела.

Постановка задачи

В настоящей статье будем пользоваться обозначениями величин, принятыми в предыдущих статьях [4, 5].

Пусть антенная решётка излучающих элементов антенны КРМ расположена над плоской поверхностью с поперечным уклоном относительно направления оси ВПП (рис. 1).

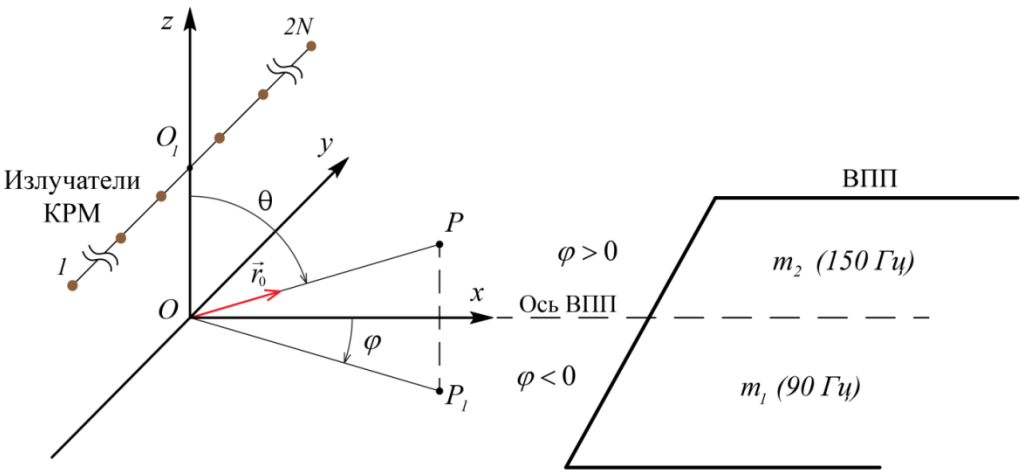


Рис. 1. Система координат

Будем пользоваться сферической системой координат с осью *Oz*, перпендикулярной к горизонтальной плоскости Земли. Начало координат находится на продолжении оси ВПП, в точке, являющейся проекцией центра антенны КРМ на упомянутую плоскость. Азимутальный угол φ отсчитывается от оси ВПП.

Антенно-фидерный тракт КРМ совместно с передающим устройством формируют в пространстве четыре сигнала: сигнал «несущая частота плюс боковые частоты» (НБЧ) узкого канала (НБЧ УК) $U^{\text{ук}}_{\text{нбч}}(\theta,\varphi,t)$, сигнал «боковые частоты» (БЧ) узкого канала (БЧ УК) $U^{\text{ук}}_{\text{бч}}(\theta,\varphi,t)$, сигнал «несущая частота плюс боковые частоты» широкого канала (НБЧ ШК) $U^{\text{шк}}_{\text{нбч}}(\theta,\varphi,t)$ и сигнал «боковые частоты» широкого канала (БЧ ШК) $U^{\text{шк}}_{\text{бч}}(\theta,\varphi,t)$.

Сигнал «несущая частота плюс боковые частоты» узкого канала имеет вид:

$$U^{\text{ук}}_{\text{нбч}}(\theta,\varphi,t) = x(\theta,\varphi,t)\cos\left[\omega^{\text{ук}}t + \psi^{\text{ук}} + \psi_1(\theta,\varphi)\right], \quad (1)$$

где

$$x(\theta,\varphi,t) = \left|\dot{F}^{\text{ук}}_{\text{нбч}}(\theta,\varphi)\right|\cdot\left[1 + m\cos(\Omega_1 t) + m\cos(\Omega_2 t)\right]; \quad (2)$$

θ – меридиональный угол;

φ – азимутальный угол;

t – время;

$\dot{F}^{\text{ук}}_{\text{нбч}}(\theta,\varphi)$ – комплексная (пространственная) диаграмма направленности (ДН) антенны КРМ по сигналу НБЧ УК, $\dot{F}^{\text{ук}}_{\text{нбч}}(\theta,\varphi) = \left|\dot{F}^{\text{ук}}_{\text{нбч}}(\theta,\varphi)\right| e^{i\psi_1(\theta,\varphi)}$;

$\left|\dot{F}^{\text{ук}}_{\text{нбч}}(\theta,\varphi)\right|$ – амплитудная ДН антенны КРМ по сигналу НБЧ УК;

$\psi_1(\theta,\varphi)$ – фазовая ДН антенны КРМ по сигналу НБЧ УК;

$\omega^{\text{ук}}$ – угловая частота несущей сигнала УК;

$\psi^{\text{ук}}$ – начальная фаза колебаний несущей частоты сигнала УК на входе антенны;

m – глубина модуляции сигнала УК (ШК) на входе антенны;

$\Omega_1 = 2\pi f_1$, $\Omega_2 = 2\pi f_2$;

$f_1 = 90$ Гц, $f_2 = 150$ Гц.

Сигнал «боковые частоты» УК имеет вид:

$$U^{\text{ук}}_{\text{бч}}(\theta,\varphi,t) = y(\varphi,t)\cos\left(\omega^{\text{ук}}t - \psi^{\text{ук}} + \psi_2(\theta,\varphi)\right), \tag{3}$$

где

$$y(\theta,\varphi,t) = a^{\text{ук}}\left|\dot{F}^{\text{ук}}_{\text{бч}}(\theta,\varphi)\right|\cdot\left[m\cos(\Omega_1 t) - m\cos(\Omega_2 t)\right]; \tag{3'}$$

$\dot{F}^{\text{ук}}_{\text{бч}}(\theta,\varphi)$ – комплексная диаграмма направленности антенны КРМ по сигналу БЧ УК, $\dot{F}^{\text{ук}}_{\text{бч}}(\theta,\varphi) = \left|\dot{F}^{\text{ук}}_{\text{бч}}(\theta,\varphi)\right|e^{i\psi_2(\theta,\varphi)}$;

$\left|\dot{F}^{\text{ук}}_{\text{бч}}(\theta,\varphi)\right|$ – амплитудная ДН антенны КРМ по сигналу БЧ УК;

$\psi_2(\theta,\varphi)$ – фазовая пространственная ДН антенны КРМ по сигналу БЧ УК;

$a^{\text{ук}}$ – коэффициент, равный отношению амплитуд напряжений сигналов с угловыми частотами Ω_1 и Ω_2 модуляции в сигналах БЧ и НБЧ УК на входе антенны (как следует из соотношений ниже, величиной коэффициента $a^{\text{ук}}$ регулируют крутизну зоны УК).

Сигнал «несущая частота плюс боковые частоты» широкого канала имеет вид:

$$U^{\text{шк}}_{\text{нбч}}(\theta,\varphi,t) = \nu(\theta,\varphi,t)\cos\left(\omega^{\text{шк}}t + \psi^{\text{шк}} + \psi_3(\theta,\varphi)\right), \tag{4}$$

где

$$v(\theta,\varphi,t) = b\left|\dot{F}^{\text{шк}}_{\text{нбч}}(\theta,\varphi)\right|\cdot\left[1 + m\cos(\Omega_1 t) + m\cos(\Omega_2 t)\right]; \tag{5}$$

$\dot{F}^{\text{шк}}_{\text{нбч}}(\theta,\varphi) = \left|\dot{F}^{\text{шк}}_{\text{нбч}}(\theta,\varphi)\right|e^{i\psi_3(\theta,\varphi)}$;

$\dot{F}^{\text{шк}}_{\text{нбч}}(\theta,\varphi)$ – комплексная ДН антенны КРМ по сигналу НБЧ ШК;

$\left|\dot{F}^{\text{шк}}_{\text{нбч}}(\theta,\varphi)\right|$ – амплитудная ДН антенны КРМ по сигналу НБЧ ШК;

$\psi_3(\theta,\varphi)$ – фазовая ДН антенны КРМ по сигналу НБЧ ШК;

b – коэффициент, равный отношению амплитуды сигнала НБЧ ШК к амплитуде сигнала НБЧ УК на входе антенны;

$\omega^{\text{шк}}$ – угловая частота несущей сигнала ШК;

$\psi^{\text{шк}}$ – начальная фаза колебаний несущей частоты сигнала ШК.

Сигнал «боковые частоты» широкого канала имеет вид:

$$U^{\text{шк}}_{\text{бч}}(\theta,\varphi,t) = w(\theta,\varphi,t)\cos\left(\omega^{\text{шк}}t - \psi^{\text{шк}} + \psi_4(\theta,\varphi)\right), \tag{6}$$

где

$$w(\theta,\varphi,t) = a^{\text{шк}}b\left|\dot{F}^{\text{шк}}_{\text{бч}}(\theta,\varphi)\right|\cdot\left[m\cos(\Omega_1 t) - m\cos(\Omega_2 t)\right]; \tag{7}$$

$a^{\text{шк}}$ – коэффициент, равный отношению амплитуд напряжений сигналов с угловыми частотами Ω_1 и Ω_2 в каналах БЧ и НБЧ ШК на входе антенны (как следует из соотношений ниже, величиной коэффициента $a^{\text{шк}}$ регулируют уровень разности глубин модуляции (РГМ) в зоне широкого канала КРМ);

$\dot{F}_{\text{бч}}^{\text{шк}}(\theta,\varphi)$ – комплексная ДН антенны КРМ по сигналу БЧ ШК, $\dot{F}_{\text{бч}}^{\text{шк}}(\theta,\varphi)=\left|\dot{F}_{\text{бч}}^{\text{шк}}(\theta,\varphi)\right|e^{i\psi_4(\theta,\varphi)}$;

$\left|\dot{F}_{\text{бч}}^{\text{шк}}(\theta,\varphi)\right|$ – амплитудная ДН антенны КРМ по сигналу БЧ ШК;

$\psi_4(\theta,\varphi)$ – фазовая ДН антенны КРМ по сигналу БЧ ШК.

Как следует из (1) и (3), разность фаз сигналов НБЧ и БЧ узкого канала равна $2\psi^{\text{ук}}$. Из (5) и (7) следует, что разность фаз сигналов НБЧ и БЧ широкого канала $2\psi^{\text{шк}}$. Принятый в (1), (3), (5), (7) учёт разности фаз сигналов НБЧ и БЧ не нарушает общности анализа, однако упрощает в дальнейшем преобразования получаемых соотношений.

Принятый на борту самолёта суммарный сигнал проходит через входные цепи приёмника, смеситель, усилитель промежуточной частоты и поступает на вход первого линейного детектора, на выходе которого формируется огибающая суммарного сигнала, называемая в [6] физической огибающей. Далее сигнал поступает на входы полосно-пропускающих фильтров, которые выделяют составляющие сигнала с частотами f_1 и f_2. Амплитуды напряжений выделенных колебаний f_1 и f_2 нормируются схемой АРУ приёмника относительно постоянной составляющей суммарного сигнала. Выделенные нормированные составляющие сигнала проходят через выпрямители, на выходе которых формируется разностное напряжение, поступающее на микроамперметр, который показывает величину тока, пропорциональную РГМ. Коэффициент пропорциональности между величиной тока и РГМ одинаков для всех бортовых приёмников ILS. Поэтому при лётных проверках параметров КРМ и ГРМ значения РГМ измеряют в микроамперах, не переводя их в проценты.

Нашей задачей является нахождение зависимости $\text{РГМ}(\theta,\varphi)$ и траектории снижения $\text{РГМ}=0$, формируемой при разных величинах угла поперечного уклона подстилающей поверхности, при заданных соотношениях амплитуд сигналов широкого и узкого каналов b, при заданной разности фаз между сигналами НБЧ и БЧ в упомянутых каналах ($2\psi^{\text{ук}}$ в узком канале, $2\psi^{\text{шк}}$ в широком канале).

Метод решения

Принятый на борту самолёта суммарный сигнал $U^{\Sigma}(\theta,\varphi,t)$ на входе приёмника является узкополосным сигналом. Сигнал $U^{\Sigma}(\theta,\varphi,t)$ подвергается линейному детектированию. Для нахождения сигнала на выходе линейного детектора воспользуемся методикой, используемой для описания детектирования квазигармонических колебаний [6]. Для точного нахождения амплитуд колебаний Ω_1 и Ω_2, выделяемых низкочастотными фильтрами, и постоянной составляющей используем разложение модуля огибающей суммарного сигнала в ряд Фурье. Глубину модуляции колебанием с частотой Ω_1 (Ω_2) найдём как частное от деления амплитуды колебания Ω_1 (Ω_2) к величине постоянной составляющей.

Решение задачи

Выберем в качестве опорной угловой частоты сигнала, получаемого в результате суммирования сигнала УК и сигнала ШК $U^{\Sigma}(\theta,\varphi,t)$, частоту ω_0:

$$\omega_0=\frac{\omega^{\text{шк}}+\omega^{\text{ук}}}{2}. \tag{8}$$

Введём обозначение $\omega_{\text{р}}$ частоты, равной половине разности частот несущих частот ШК $\omega^{\text{шк}}$ и УК $\omega^{\text{ук}}$:

$$\omega_{\text{р}}=\frac{\omega^{\text{шк}}-\omega^{\text{ук}}}{2}. \tag{9}$$

Тогда сигнал $U^{\Sigma}(\theta,\varphi,t)$ на входе приёмника может быть представлен в следующем виде:

$$U^{\Sigma}(\theta,\varphi,t)=U^{\text{ук}}_{\text{нбч}}(\theta,\varphi,t)+U^{\text{ук}}_{\text{бч}}(\theta,\varphi,t)+U^{\text{шк}}_{\text{нбч}}(\theta,\varphi,t)+U^{\text{шк}}_{\text{бч}}(\theta,\varphi,t)=$$
$$=\left|\dot{F}^{\text{ук}}_{\text{нбч}}(\theta,\varphi)\right|\cdot\left[1+m\cos(\Omega_1 t)+m\cos(\Omega_2 t)\right]\cos\left(\left(\omega_0-\omega_{\text{р}}\right)t+\psi^{\text{ук}}+\psi_1(\theta,\varphi)\right)+$$
$$+a^{\text{ук}}\left|\dot{F}^{\text{ук}}_{\text{бч}}(\theta,\varphi)\right|\cdot\left[m\cos(\Omega_1 t)-m\cos(\Omega_2 t)\right]\cos\left((\omega_0-\omega_{\text{р}})t-\psi^{\text{ук}}+\psi_2(\theta,\varphi)\right)+$$
$$+b\left|\dot{F}^{\text{шк}}_{\text{нбч}}(\theta,\varphi)\right|\cdot\left[1+m\cos(\Omega_1 t)+m\cos(\Omega_2 t)\right]\cos\left(\left(\omega_0+\omega_{\text{р}}\right)t+\psi^{\text{шк}}+\psi_3(\theta,\varphi)\right)+$$
$$+ba^{\text{шк}}\left|\dot{F}^{\text{шк}}_{\text{бч}}(\theta,\varphi)\right|\cdot\left[m\cos(\Omega_1 t)-m\cos(\Omega_2 t)\right]\cos\left(\left(\omega_0+\omega_{\text{р}}\right)t-\psi^{\text{шк}}+\psi_4(\theta,\varphi)\right). \quad (10)$$

Принятый на борту сигнал $U^{\Sigma}(\theta,\varphi,t)$ является узкополосным сигналом. Следуя [6], преобразуем выражение $U^{\Sigma}(\theta,\varphi,t)$ в (11) к виду:

$$U^{\Sigma}(\theta,\varphi,t)=A(\theta,\varphi,t)\cos(\omega_0 t)-B(\theta,\varphi,t)\sin(\omega_0 t). \quad (11)$$

Как известно, узкополосные сигналы представляют собой квазигармонические колебания. Функцию $A(\theta,\varphi,t)$ принято называть синфазной амплитудой узкополосного сигнала $U^{\Sigma}(\theta,\varphi,t)$, а функцию $B(\theta,\varphi,t)$ – его квадратурной амплитудой при заданной опорной частоте ω_0.

Модуль огибающей $U(\theta,\varphi,t)$ узкополосного сигнала выражается через синфазную и квадратурную амплитуды сигнала $U^{\Sigma}(\theta,\varphi,t)$ на входе приёмника:

$$U(\theta,\varphi,t)=\sqrt{A^2(\theta,\varphi,t)+B^2(\theta,\varphi,t)}. \quad (12)$$

Запишем $U^{\Sigma}(\varphi,t)$ с учётом ранее введённых обозначений (2), (3'), (6), (8):

$$U^{\Sigma}(\theta,\varphi,t)=x(\theta,\varphi,t)\cos\left[\left(\omega_0-\omega_{\text{р}}\right)t+\psi^{\text{ук}}+\psi_1(\theta,\varphi)\right]+y(\theta,\varphi,t)\cos\left[\left(\omega_0-\omega_{p}\right)t-\psi^{\text{ук}}+\psi_2(\theta,\varphi)\right]+$$
$$+v(\theta,\varphi,t)\cos\left[\left(\omega_0+\omega_{\text{р}}\right)t+\psi^{\text{шк}}+\psi_3(\theta,\varphi)\right]+w(\theta,\varphi,t)\cos\left[\left(\omega_0+\omega_{\text{р}}\right)t-\psi^{\text{шк}}+\psi_4(\theta,\varphi)\right]. \quad (13)$$

Выделим в суммарном сигнале синфазную и квадратурную амплитуды сигнала. Выполнив в (13) тригонометрические преобразования, получим:

$$A(\theta,\varphi,t)=x(\theta,\varphi,t)\cos\left(\psi^{\text{ук}}-\omega_{\text{р}}t+\psi_1(\theta,\varphi)\right)+y(\theta,\varphi,t)\cos\left(-\psi^{\text{ук}}-\omega_{\text{р}}t+\psi_2(\theta,\varphi)\right)+$$
$$+v(\theta,\varphi,t)\cos\left(\psi^{\text{шк}}+\omega_{\text{р}}t+\psi_3(\theta,\varphi)\right)+w(\theta,\varphi,t)\cos\left(-\psi^{\text{шк}}+\omega_{\text{р}}t+\psi_4(\theta,\varphi)\right); \quad (14)$$
$$B(\theta,\varphi,t)=x(\theta,\varphi,t)\sin\left(\psi^{\text{ук}}-\omega_{\text{р}}t+\psi_1(\theta,\varphi)\right)+y(\theta,\varphi,t)\sin\left(-\psi^{\text{ук}}-\omega_{\text{р}}t+\psi_2(\theta,\varphi)\right)+$$
$$+v(\theta,\varphi,t)\sin\left(\psi^{\text{шк}}+\omega_{\text{р}}t+\psi_3(\theta,\varphi)\right)+w(\theta,\varphi,t)\sin\left(-\psi^{\text{шк}}+\omega_{\text{р}}t+\psi_4(\theta,\varphi)\right). \quad (15)$$

Тогда

$$A^2(\theta,\varphi,t)+B^2(\theta,\varphi,t)=$$
$$=x^2(\theta,\varphi,t)+y^2(\theta,\varphi,t)+v^2(\theta,\varphi,t)+w^2(\theta,\varphi,t)+$$
$$+2x(\theta,\varphi,t)y(\theta,\varphi,t)\cos\left(2\psi^{\text{ук}}+\psi_1(\theta,\varphi)-\psi_2(\theta,\varphi)\right)+$$
$$+2x(\theta,\varphi,t)v(\theta,\varphi,t)\cos\left(\psi^{\text{ук}}-\psi^{\text{шк}}-2\omega_{\text{р}}t+\psi_1(\theta,\varphi)-\psi_3(\theta,\varphi)\right)+$$
$$+2x(\theta,\varphi,t)w(\theta,\varphi,t)\cos\left(\psi^{\text{ук}}+\psi^{\text{шк}}-2\omega_{\text{р}}t+\psi_1(\theta,\varphi)-\psi_4(\theta,\varphi)\right)+$$
$$+2y(\theta,\varphi,t)v(\theta,\varphi,t)\cos\left(-\psi^{\text{ук}}-\psi^{\text{шк}}-2\omega_{\text{р}}t+\psi_2(\theta,\varphi)-\psi_3(\theta,\varphi)\right)+$$
$$+2y(\theta,\varphi,t)w(\theta,\varphi,t)\cos\left(-\psi^{\text{ук}}+\psi^{\text{шк}}-2\omega_{\text{р}}t+\psi_2(\theta,\varphi)-\psi_4(\theta,\varphi)\right)+$$
$$+2v(\theta,\varphi,t)w(\theta,\varphi,t)\cos\left(2\psi^{\text{шк}}+\psi_3(\theta,\varphi)-\psi_4(\theta,\varphi)\right). \quad (16)$$

Точные значения РГМ(θ,φ)

Для точного вычисления разности глубин модуляции суммарного сигнала РГМ$^{\Sigma}(\theta,\varphi)$ воспользуемся разложением функции $U(\theta,\varphi,t)$ в ряд Фурье. Функция $U(\theta,\varphi,t)$ является периодической функцией с периодом T :

$$T=\frac{1}{30}\text{ с.}$$

Обозначим частоту, равную 30 Гц, буквой f , с нижним индексом 0: f_0, а соответствующую угловую частоту: Ω_0, $(\Omega_0=2\pi f_0)$. Тогда угловые частоты Ω_1 и Ω_2 представляются как 3-я и 5-я гармоники модуля огибающей суммарного сигнала $(\Omega_1=3\Omega_0,\ \Omega_2=5\Omega_0)$. Функция $U(\theta,\varphi,t)$ (12) является чётной функцией переменной величины t, следовательно, в разложении будут отличными от нуля только постоянная составляющая и косинусоидальные составляющие сигнала.

Амплитуда $M_1(\theta,\varphi)$ колебания с частотой 90 Гц равна:

$$M_1(\theta,\varphi)=\frac{2}{T}\int\limits_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}}U(\theta,\varphi,t)\cos(\Omega_1 t)\,dt=\frac{2}{T}\int\limits_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}}U(\theta,\varphi,t)\cos(3\Omega_0 t)\,dt. \qquad (17)$$

Сделаем в подынтегральном выражении в (17) замену переменной $\Omega_0 t=\eta$, $dt=\frac{d\eta}{\Omega_0}$. В результате верхний предел интеграла в (17) при интегрировании по переменной η (при $t=\frac{T}{2}$) равен $\Omega_0\frac{T}{2}=\pi$. Нижний предел равен $-\pi$.

$$M_1(\theta,\varphi)=\frac{2}{T\Omega_0}\int\limits_{-\pi}^{\pi}U(\theta,\varphi,\eta)\cos 3\eta\,d\eta=\frac{1}{\pi}\int\limits_{-\pi}^{\pi}U(\theta,\varphi,\eta)\cos 3\eta\,d\eta. \qquad (18)$$

Аналогично получим, что амплитуда $M_2(\theta,\varphi)$ колебания с частотой 150 Гц и постоянная составляющая $M_0(\theta,\varphi)$ равны соответственно:

$$M_2(\theta,\varphi)=\frac{1}{\pi}\int\limits_{-\pi}^{\pi}U(\theta,\varphi,\eta)\cos 5\eta\,d\eta;\quad M_0(\theta,\varphi)=\frac{1}{2\pi}\int\limits_{-\pi}^{\pi}U(\theta,\varphi,\eta)\,d\eta. \qquad (19)$$

Глубина модуляции огибающей сигналом 90 Гц (150 Гц) представляет собой частное от деления амплитуды $M_1(\theta,\varphi)$ $\left[M_2(\theta,\varphi)\right]$ на постоянную составляющую $M_0(\theta,\varphi)$:

$$\text{РГМ}^{\Sigma}(\theta,\varphi)=m_1(\theta,\varphi)-m_2(\theta,\varphi), \qquad (20)$$

где $m_1(\theta,\varphi)=\frac{M_1(\theta,\varphi)}{M_0(\theta,\varphi)};\quad m_2(\theta,\varphi)=\frac{M_2(\theta,\varphi)}{M_0(\theta,\varphi)}.$

Согласно определению, приведённому в нормах ИКАО [1], под разностью глубин модуляции (РГМ) понимается «процент глубины модуляции наибольшего сигнала минус процент глубины модуляции наименьшего сигнала», т. е. модуль разности двух глубин модуляции. Для удобства рассмотрения и графического представления мы будем рассматривать разность глубин модуляции РГМ$^{\Sigma}(\theta,\varphi)$ в соответствии с формулой (20), принимающую как положительные, так и отрицательные значения. В области направлений, где сигнал 90 Гц превышает сигнал 150 Гц, функция РГМ$^{\Sigma}(\theta,\varphi)$ является положительной величиной.

Формулы (18–(20) далее используем для вычисления точных значений функции РГМ$^{\Sigma}(\theta,\varphi)$.

Зоны курса

Рассмотрим влияние поперечного уклона местности на примере работы КРМ с 16-элементной линейной неэквидистантной антенной решёткой. Расстояние излучающих элементов от центра антенной решётки, аплитудно-фазовое распределение токов в излучающих элементах для сигналов НБЧ и БЧ узкого и широкого каналов приведены в таблице, представленной также в работе [5].

АФР антенны КРМ

№ ИЭ	y – координата, м	НБЧ		БЧ	
		Нормированная амплитуда тока	Начальная фаза тока, °	Нормированная амплитуда тока	Начальная фаза тока, °
Узкий канал					
1	–19,23	0,1377	0	0,6003	–90
2	–16,09	0,2961	0	0,7450	–90
3	–13,13	0,5057	0	0,9605	–90
4	–10,34	0,7113	0	1,0	–90
5	–7,73	0,8764	0	0,8863	–90
6	–5,3	0,9746	0	0,6571	–90
7	–3,04	1,0	0	0,3817	–90
8	–0,95	0,9442	0	0,1118	–90
9	0,95	0,9442	0	0,1118	+90
10	3,04	1,0	0	0,3817	+90
11	5,3	0,9746	0	0,6571	+90
12	7,73	0,87646	0	0,8863	+90
13	10,34	0,7113	0	1,0	+90
14	13,13	0,5057	0	0,9605	+90
15	16,09	0,2961	0	0,7450	+90
16	19,23	0,1377	0	0,6003	+90
Широкий канал					
1	–19,23	0,0252	0	–	–
2	–16,09	–	–	0,0415	+90
3	–13,13	0,0317	180	0,0334	+90
4	–10,34	0,0582	180	0,0621	+90
5	–7,73	0,2036	180	0,0292	–90
6	–5,3	0,0227	180	0,0474	–90
7	–3,04	0,6192	180	0,2411	–90
8	–0,95	1,0	0	1,0	–90
9	0,95	1,0	0	1,0	+90
10	3,04	0,6192	180	0,2411	+90
11	5,3	0,0227	180	0,0474	+90
12	7,73	0,2036	180	0,0292	+90
13	10,34	0,0582	180	0,0621	–90
14	13,13	0,0317	180	0,0334	–90
15	16,09	–	–	0,0415	–90
16	19,23	0,0252	0	–	–

Как было отмечено, распределения токов сигналов НБЧ УК и НБЧ ШК являются чётными функциями координат излучающих элементов относительно центра АР, а распределения токов сигналов БЧ УК и БЧ ШК являются нечётными функциями, причём токи сигналов БЧ УК (БЧ ШК) сдвинуты по фазе относительно токов НБЧ УК (НБЧ ШК) на 90°. Сдвиг по фазе выполнен таким образом, чтобы выполнялось требование п. 3.1.3.1.2 [1]: «для наблюдателя, обращённого лицом к курсовому радиомаяку и находящемуся на пороге ВПП со стороны захода на посадку, глубина модуляции несущей высокой частоты тональным сигналом 150 Гц преобладает справа, а глубина модуляции несущей тональным сигналом 90 Гц – слева от него» (см. таблицу). Частота

несущей равна 110 МГц. АР размещена на высоте 3 м относительно горизонтальной плоскости. При учёте наклона предположено, что плоскости с поперечным уклоном повёрнуты на заданный угол α относительно прямой, проходящей через точку, являющейся проекцией центра антенны на горизонтальную плоскость. Все расчёты выполнены для меридионального угла $\theta = 87°$. Указанный угол выбран с учётом того, что стандартным углом для захода самолёта на посадку по глиссаде является угол глиссады, равный 3°.

Амплитудные и фазовые ДН антенны КРМ $\left|\dot{F}^{\text{ук}}_{\text{нбч}}(\theta,\varphi)\right|$, $\left|\dot{F}^{\text{ук}}_{\text{бч}}(\theta,\varphi)\right|$, $\left|\dot{F}^{\text{шк}}_{\text{нбч}}(\theta,\varphi)\right|$, $\left|\dot{F}^{\text{шк}}_{\text{бч}}(\theta,\varphi)\right|$ и $\psi_1(\theta,\varphi)$, $\psi_2(\theta,\varphi)$, $\psi_3(\theta,\varphi)$, $\psi_4(\theta,\varphi)$ рассмотрены в [5].

Из анализа формул (18)–(20) следует, что РГМ в узком канале может принимать значение, равное нулю (и таким образом определится положение линии курса) при $\psi^{\text{ук}} = 0$, в следующих двух случаях. В первом случае амплитудная диаграмма направленности $\left|\dot{F}^{\text{ук}}_{\text{бч}}(\theta,\varphi)\right|$ имеет значение, равное нулю. Во втором случае разность фаз сигнала НБЧ и сигнала БЧ равна $\Delta\psi_{1,2}(\theta,\ \varphi) = \psi_1(\theta,\ \varphi) - \psi_2(\theta,\ \varphi) = 90°,\ 90° \pm 180°$. Аналогичное замечание справедливо в отношении зависимости РГМ в широком канале. Ниже рассмотрим поведение $\Delta\psi_{1,2}(\theta,\ \varphi) = \psi_1(\theta,\ \varphi) - \psi_2(\theta,\ \varphi)$ и поведение функции $\Delta\psi_{3,4}(\theta,\ \varphi) = \psi_3(\theta,\ \varphi) - \psi_4(\theta,\ \varphi)$, а затем перейдём к рассмотрению поведения функции РГМ.

Разность фаз сигнала НБЧ УК и сигнала БЧ УК

Рассмотрим зависимость разности фаз $\Delta\psi_{1,2}$ сигнала НБЧ УК и сигнала БЧ УК от азимутального угла при фиксированном меридиональном угле $\theta = 87°$, $\Delta\psi_{1,2}(87°, \varphi) = \psi_1(87°,\ \varphi) - \psi_2(87°,\ \varphi)$. Ограничимся рассмотрением упомянутой зависимости в некоторой окрестности точки $\varphi = 0$.

Графики зависимости $\Delta\psi_{1,2}$ для некоторых значений угла поперечного уклона плоскости приведены на рис. 2.

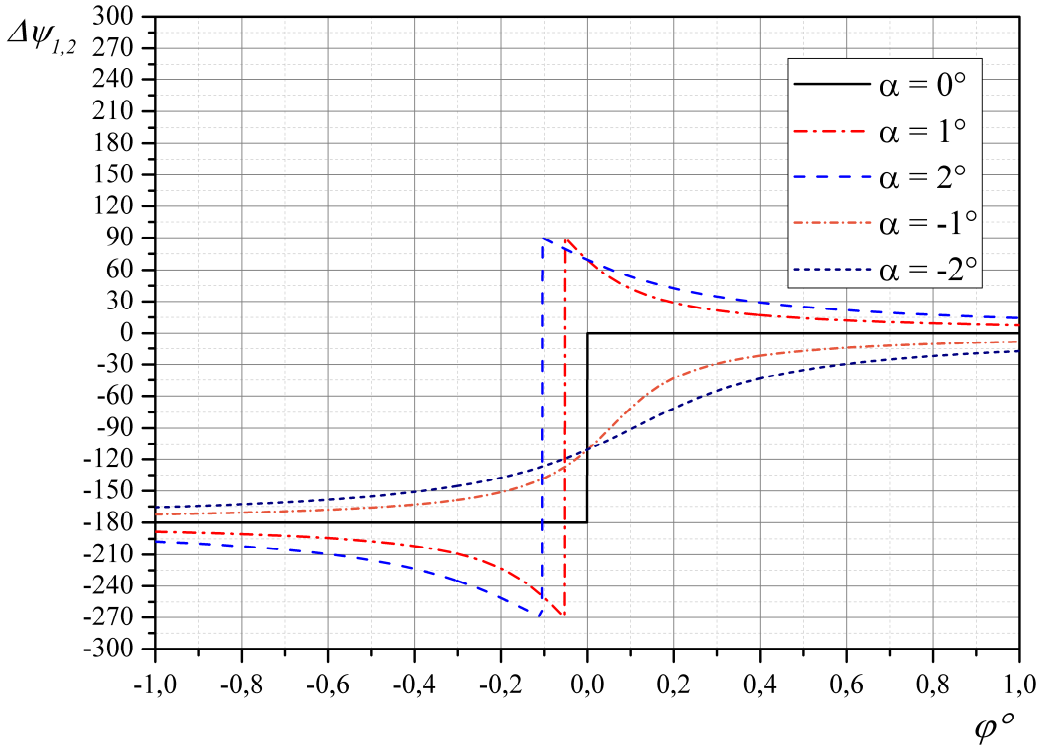


Рис. 2. Зависимость разности фаз $\Delta\psi_{1,2}$ от азимутального угла φ по сигналу УК

Как видно из графиков на рис. 2, в случае горизонтальной ориентации плоскости функция $\Delta\psi_{1,2}(87°, \varphi)$ в рассматриваемой области представляет собой разрывную ступенчатую функцию, принимающую значение, равное –180° при отрицательных значениях переменной φ, и значение, равное 0° при положительных значениях переменной φ.

При $\alpha > 0$ (см. рис. 2) функция $\Delta\psi_{1,2}$ достигает значения, равного 90° (–270°), при некотором отрицательном азимутальном угле $\Delta\varphi$. С ростом величины угла α растёт абсолютная величина угла $\Delta\varphi$.

При $\alpha < 0$ (см. рис. 2) функция $\Delta\psi_{1,2}$ достигает значения, равного –90° (+270°), при некотором положительном азимутальном угле $\Delta\varphi$. С ростом абсолютной величины угла α растёт величина угла $\Delta\varphi$.

В пределах главных лепестков разностной ДН УК зависимость РГМ от азимутального угла (рис. 3, а) изменяется монотонно в пределах от –0,4 до +0,4. Поперечный уклон подстилающей поверхности приводит к смещению графика зависимости практически параллельно самому себе (рис. 3, б). При этом при положительных значениях угла уклона график смещается в направлении отрицательных значений азимутального угла, а при отрицательных смещается в направлении положительных значений азимутального угла. Как видно из графиков на рис. 3, б, поперечный уклон поверхности величиной +2° (–2°) приводит к смещению РГМ = 0 на величину 0,1°.

За пределами сектора углов главных лепестков рассматриваемая зависимость имеет осциллирующий характер, изменяясь в пределах от –0,4 до +0,4. Детальное рассмотрение поведения РГМ в этих областях не представляет интереса, поскольку при двухчастотной работе радиомаяка решающее значение за пределами сектора углов главных лепестков имеют сигналы широкого канала.

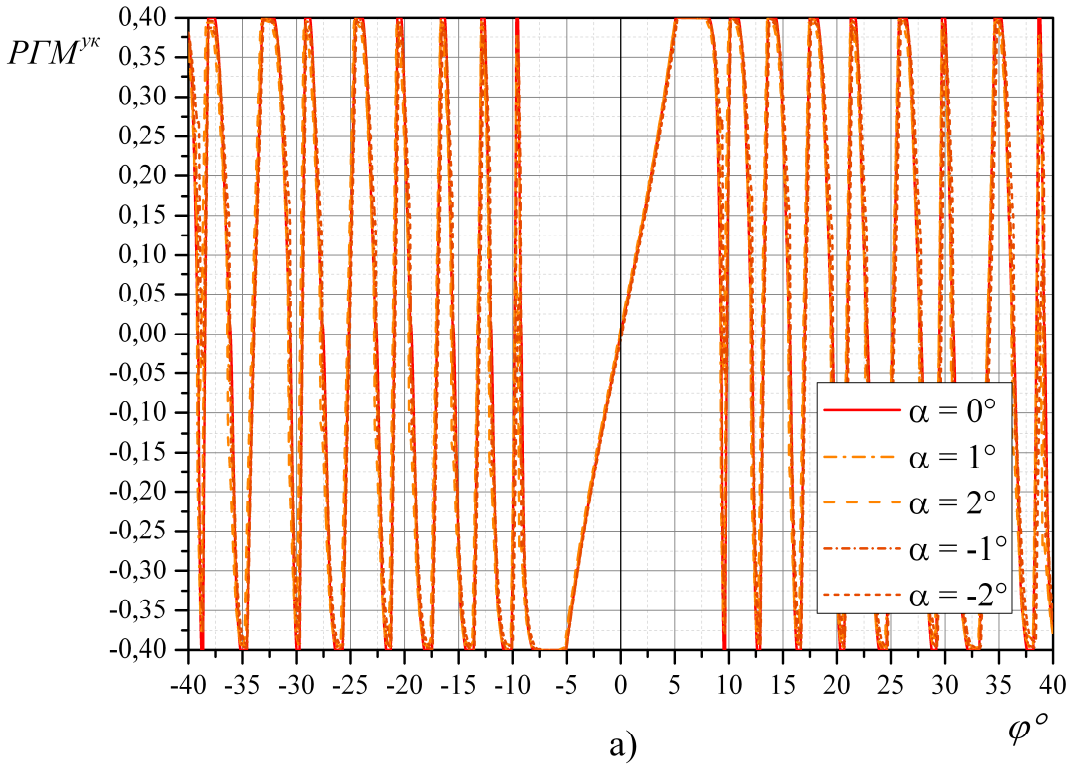


Рис. 3. Зависимость РГМ от азимутального угла по сигналу УК
(см. также с. 80)

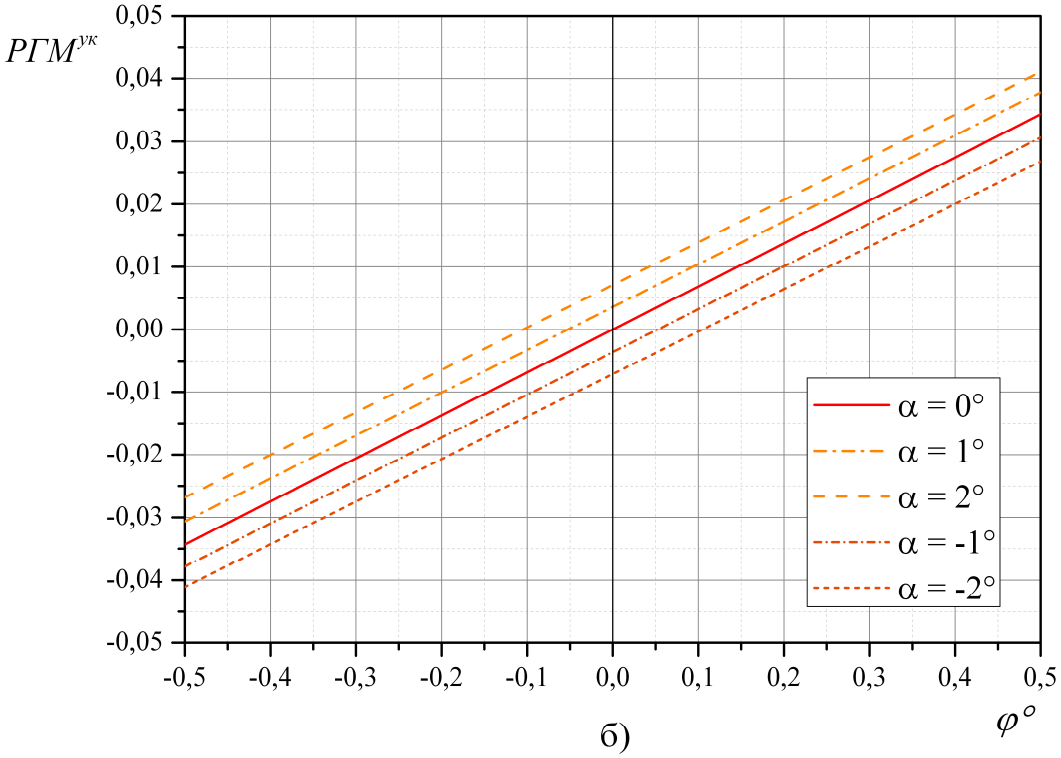


Рис. 3. Окончание

Разность фаз сигналов НБЧ и БЧ в широком канале

Как видно из графиков на рис. 4, в случае горизонтальной ориентации плоскости функция $\Delta\psi_{3,4}(87°,\ \varphi)$ в рассматриваемой области представляет собой разрывную ступенчатую функцию, принимающую значение, равное 180°, при отрицательных значениях переменной φ и значение, равное 0°, при положительных значениях переменной φ.

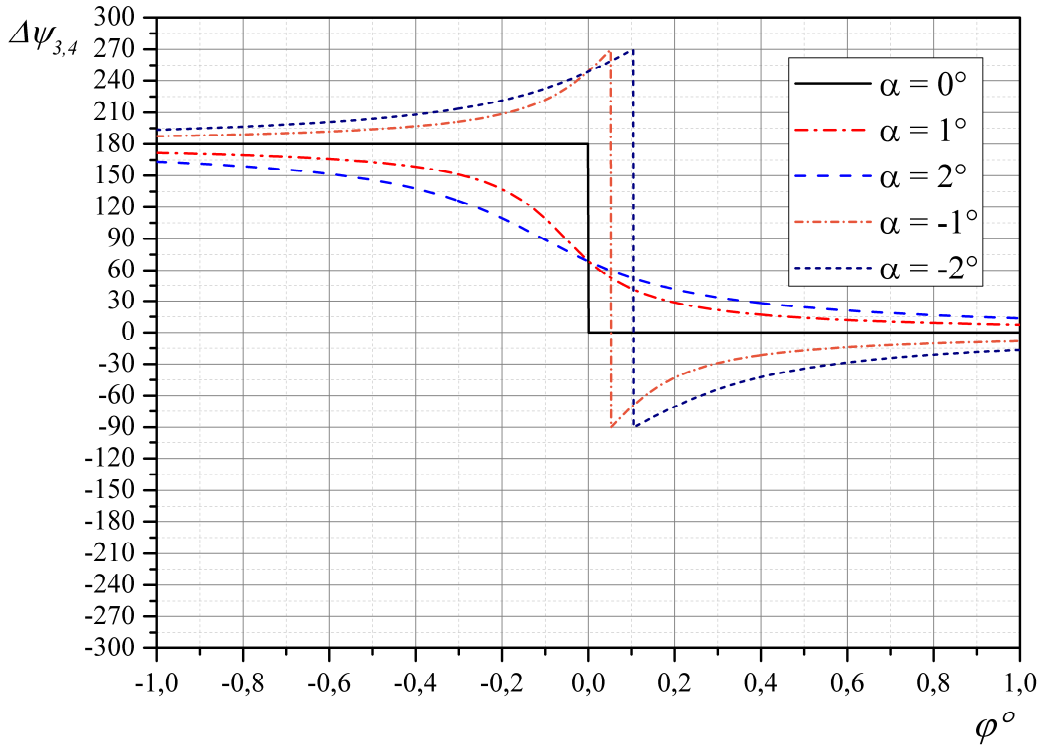


Рис. 4. Зависимость разности фаз $\Delta\psi_{3,4}$ от азимутального угла φ по сигналу ШК

При $\alpha > 0$ (см. рис. 4) функция $\Delta\psi_{3,4}$ достигает значения, равного 90°, при некотором отрицательном азимутальном угле $\Delta\varphi$. С ростом величины угла α растёт абсолютная величина угла $\Delta\varphi$.

При $\alpha < 0$ (см. рис. 4) функция $\Delta\psi_{3,4}$ достигает значения, равного +270° (–90°), при некотором положительном азимутальном угле $\Delta\varphi$. С ростом абсолютной величины угла α растёт величина угла $\Delta\varphi$.

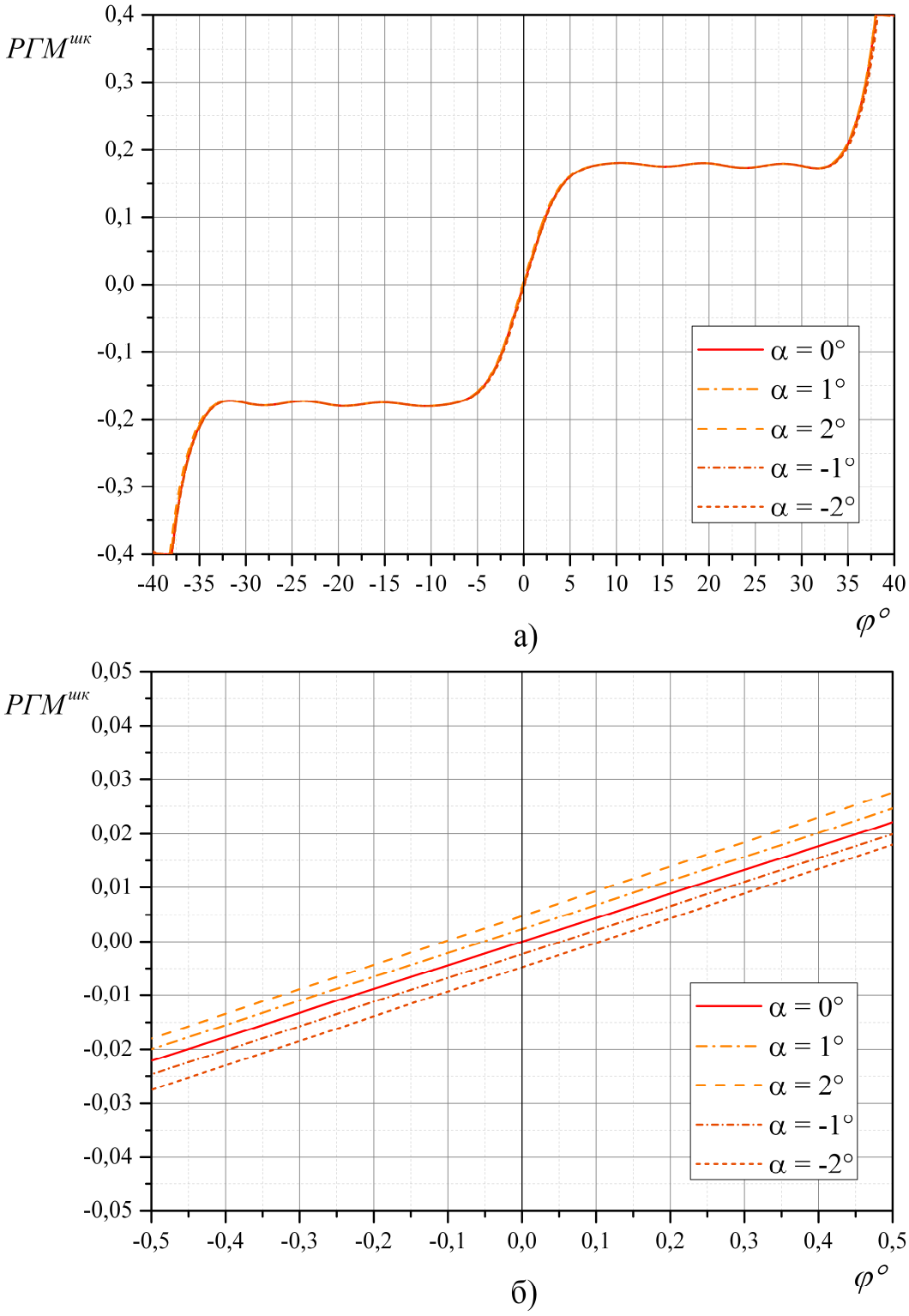


Рис. 5. Зависимость РГМ от азимутального угла по сигналу ШК

Как видно из графиков на рис. 5, а, зависимость РГМ от азимутального угла в широком канале в рабочем секторе углов $(-35°, +35°)$ имеет вид двух ступенек с монотонно возрастающим переходом от одной ступеньки к другой. При принятой величине $a^{шк} = 0,6$ первая ступенька в зависимости РГМ расположена на уровне, примерно равном –0,18, вторая – на уровне, примерно равном +0,18. Переход от одной к другой ступеньке начинается при –7° и завершается при +7°.

Поперечный уклон подстилающей поверхности приводит к смещению зависимости вдоль φ-й координаты: при $\alpha > 0$ в сторону отрицательных значений координаты φ, при $\alpha < 0$ в сторону положительных значений координаты φ (рис. 5, б).

Зависимость РГМ от азимутального угла при совместной работе УК и ШК

На рис. 6 приведены зависимости $РГМ^{\Sigma}(\theta = 87°, \varphi)$ при совместной работе УК и ШК, при $a^{ук} = 0,4$, $a^{шк} = 0,6$, $b = 0,7$. Как видно из графиков на рис. 6, в секторе углов $-5° < \varphi < 5°$ наблюдается плавный, монотонный рост $РГМ^{\Sigma}(\varphi)$. В этом секторе осуществляется работа с узким каналом. За пределами указанного сектора углов функция $РГМ^{\Sigma}(\varphi)$ при отрицательных углах φ имеет значение не более –0,17, при положительных значениях φ – не менее +0,17. Уровень постоянного значения РГМ в этих секторах определяется значением коэффициента $a^{шк}$. В этих секторах осуществляется работа с широким каналом. Поведение зависимости $РГМ^{\Sigma}(\theta = 87°, \varphi)$ при совместной работе УК и ШК в секторе углов $-5° < \varphi < 5°$ определяется, по существу, поведением зависимости РГМ в УК. Поперечный уклон подстилающей поверхности приводит к смещению графика зависимости практически параллельно самому себе. При этом при положительных значениях угла уклона график смещается в направлении отрицательных значений азимутального угла, а при отрицательных смещается в направлении положительных значений азимутального угла. Как видно из графиков на рис. 6, поперечный уклон поверхности величиной +2° (–2°) приводит к смещению РГМ, равного нулю, на величину 0,1°.

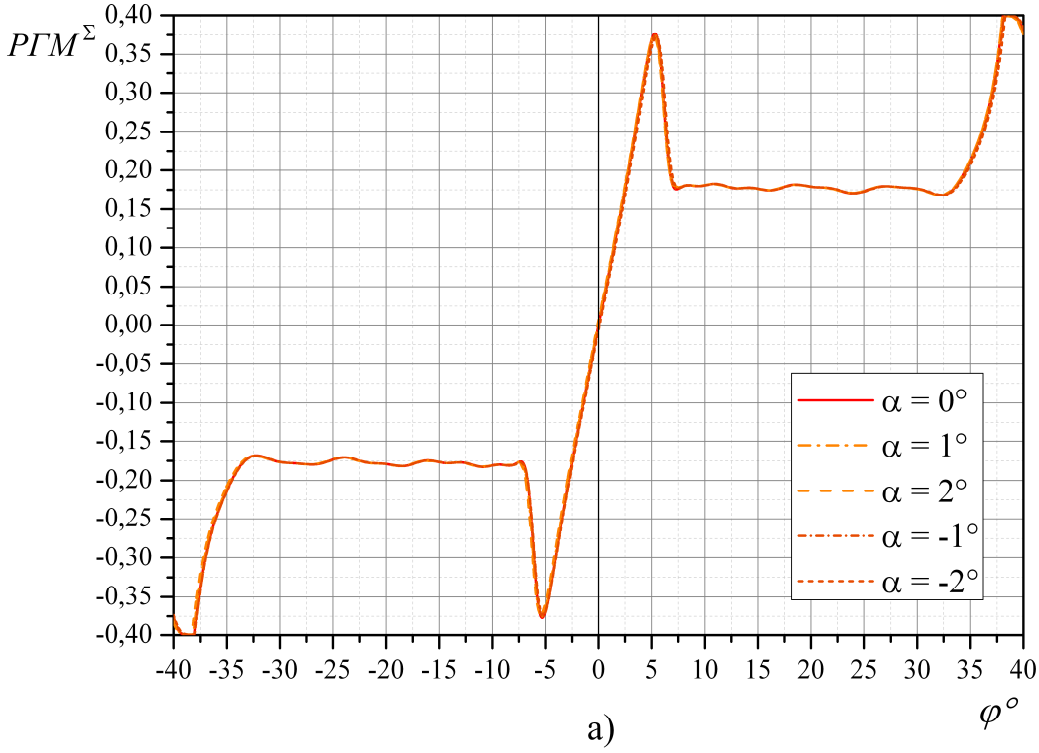


Рис. 6. Зависимость РГМ от азимутального угла при совместной работе УК и ШК
(см. также с. 83)

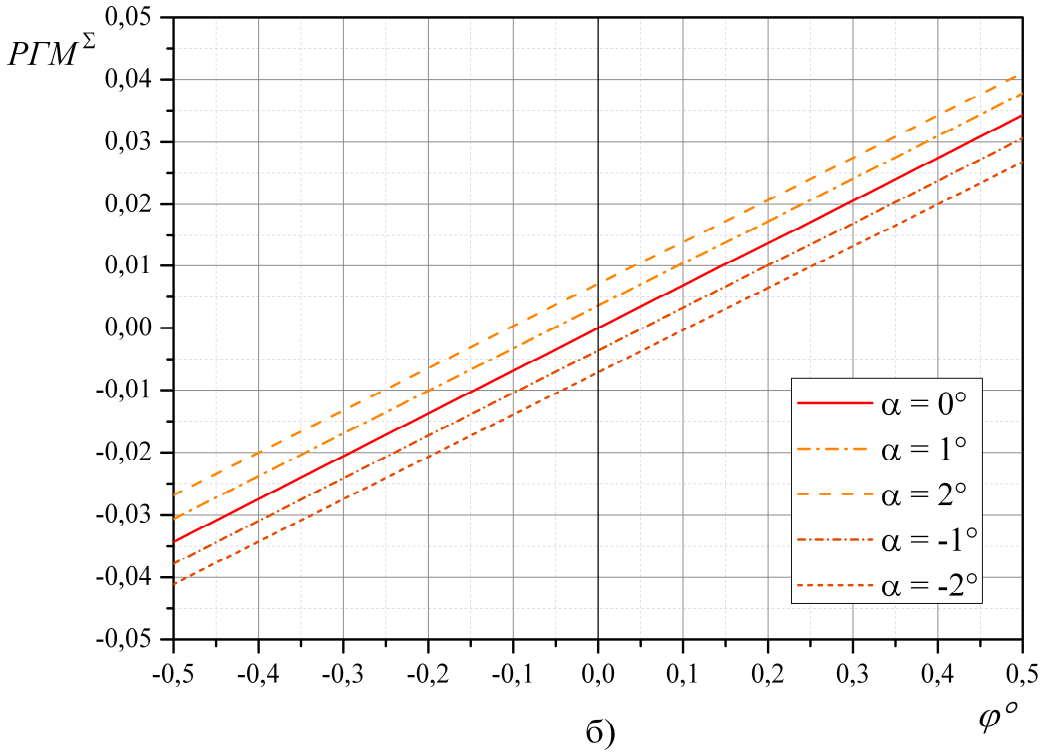


Рис. 6. Окончание

Зависимость смещения линии курса

По мере захода самолёта по глиссаде самолёт оказывается под разными углами места в системе координат, связанной с антенной КРМ. На предельной дальности этот угол близок к углу глиссады. Когда самолёт окажется на ВПП, этот угол близок к нулю. Угловое уклонение линии курса от оси ВПП зависит как от угла наклона поверхности, так и от угла места точки наблюдения. Линейное отклонение линии курса от оси ВПП, естественно, зависит от расстояния между КРМ и точкой наблюдения.

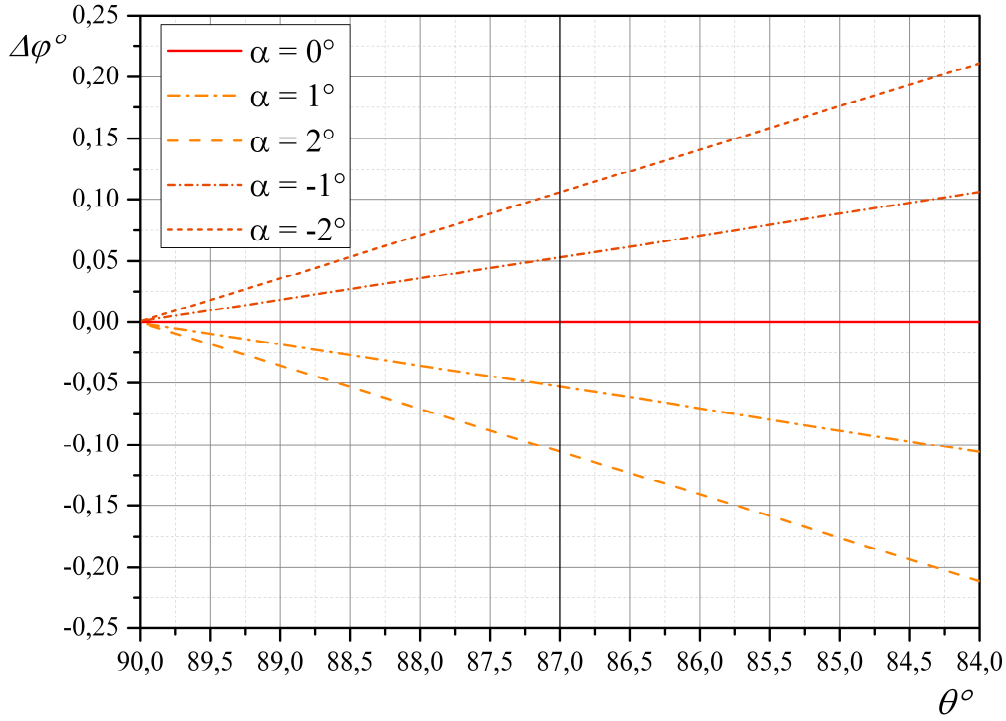


Рис. 7. Зависимость смещения φ линии курса от меридионального угла θ

На рис. 7 представлена зависимость углового смещения линии курса от меридионального угла θ (от угла места τ, $\tau = 90° - \theta$) для разных величин угла наклона подстилающей поверхности. Как видно при рассмотрении графиков, зависимость является практически линейной.

При уменьшении угла места τ по мере снижения самолёта уменьшается угол смещения линии курса. Угол смещения стремится к значению, равному нулю, при стремлении точки наблюдения к подстилающей поверхности. Найдём при заданном угле наклона поверхности проекцию траектории снижения самолёта на горизонтальную плоскость при условии, что при снижении строго выдерживается заданный угол глиссады.

Итак, будем далее полагать, что из численного эксперимента нам известна зависимость уклонения курса φ от меридионального угла (или угла места) $\varphi = \varphi(\theta)$. Мы полагаем, что обозначение уклонения курса буквой φ, такой же как и азимутальная координата, не вызовет затруднений при выводе формул. Обозначим буквой L расстояние между КРМ (точкой O) и точкой пересечения спрямлённой глиссады с поверхностью ВПП (точкой O_2). Будем полагать, что самолёт заходит на посадку по глиссаде с углом глиссады θ_1.

Для решения поставленной задачи введём местную сферическую систему координат $O_2 r_1 \theta_1 \varphi_1$ с центром в точке O_2. Ось $O_2 x_1$ направим вдоль оси ВПП, ось $O_2 z_1$ – вертикально вверх, ось $O_2 y_1$ – в направлении с образованием правой декартовой системы координат $O_2 x_1 y_1 z_1$. Найдём соотношения для вычисления линии курса для самолёта, снижающегося по глиссаде с углом θ_1. Координаты точки наблюдения в основной (связанной с точкой размещения КРМ) и местной системах координат:

$$z = r\cos\theta; \qquad z_1 = r_1\cos\theta_1;$$
$$x = r\sin\theta\cos\varphi; \quad x_1 = r_1\sin\theta_1\cos\varphi_1;$$
$$y = r\sin\theta\sin\varphi; \quad y_1 = r_1\sin\theta_1\sin\varphi_1.$$

Учитывая тот факт, что используем известную зависимость $\varphi = \varphi(\theta)$, примем для анализа θ в качестве независимой переменной. Область изменения переменной θ от 0 до θ_1. При этом равенству $\theta = 90°$ соответствует точка пересечения спрямлённой глиссады с поверхностью ВПП.

Очевидно, справедливы равенства:

$$x = x_1 + L, \quad y = y_1, \quad z = z_1.$$

Из третьего равенства ($z = z_1$) получим:

$$r = r_1\frac{\cos\theta_1}{\cos\theta}.$$

Тогда из второго равенства ($y = y_1$) следует:

$$\sin\varphi_1 = \sin\varphi\frac{\operatorname{tg}\theta}{\operatorname{tg}\theta_1}.$$

Из третьего равенства ($x = x_1 + L$) получим:

$$r_1 = \frac{L\cos\theta}{\cos\theta_1\sin\theta\cos\varphi - \sin\theta_1\cos\varphi_1\cos\theta}.$$

По известным r_1, φ_1 найдём в декартовых координатах x_1, y_1 проекцию траектории полёта на горизонтальную плоскость $z_1 = 0$ (рис. 8). Проекция траектории вычислена при следующих исходных данных: $\alpha = 2°$, $L = 3500$ м, $\theta_1 = 87°$.

Как видно из графика на рис. 8, проекция траектории представляет собой практически прямую линию, составляющую с осью ВПП угол, примерно равный $\Delta\varphi' = 5{,}4'$. Поскольку точка касания самолета находится на расстоянии от 200 до 450 м от порога ВПП то поперечное смещение линии курса на торце ВПП составит от 0,3 до 0,7 м.

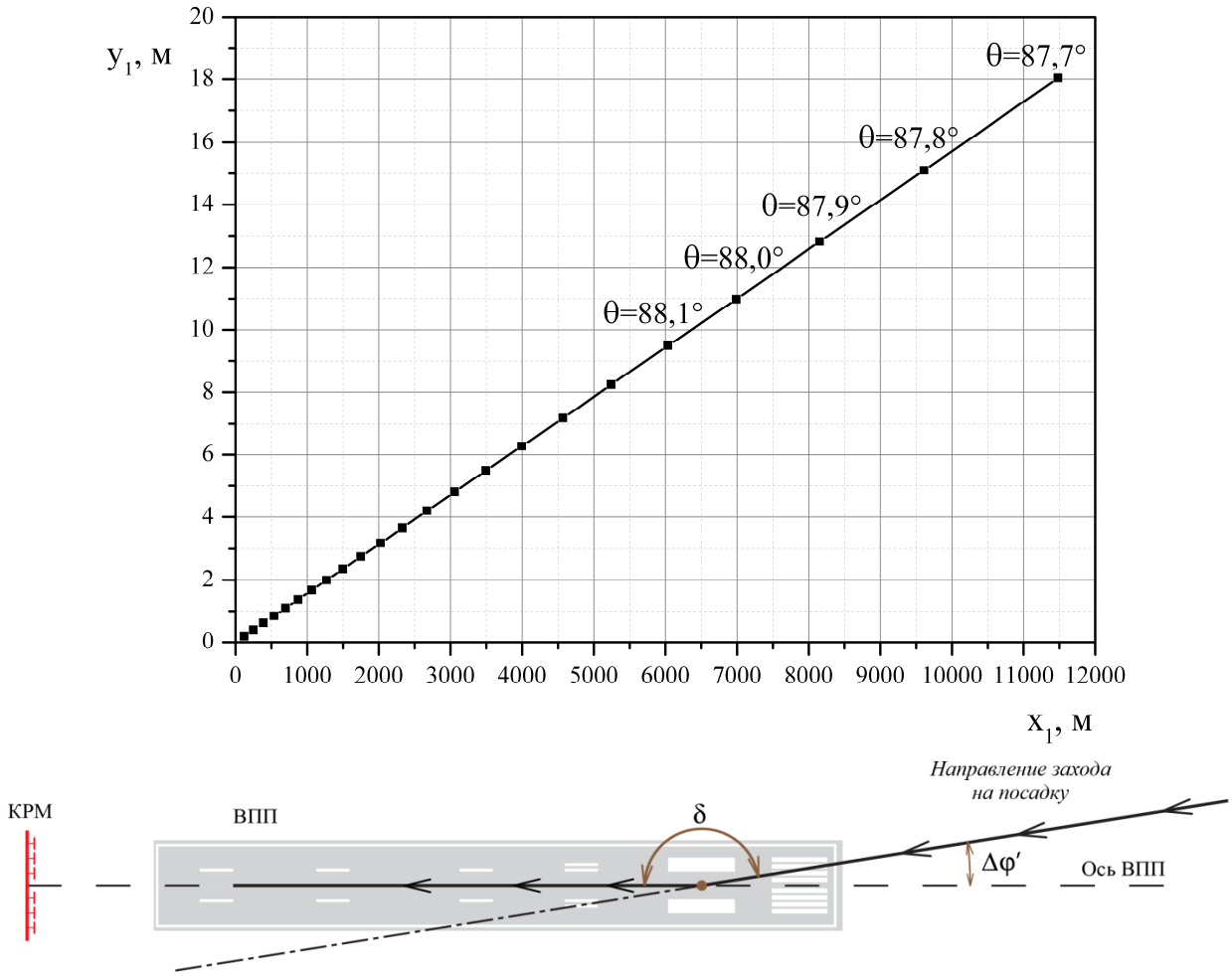


Рис. 8. Проекция траектории полёта на плоскость $O_1x_1y_1$ при снижении самолёта по глиссаде с углом 3°; поперечный уклон местности $\alpha = 2°$

Обсуждение результатов

В настоящее время основным средством обеспечения инструментального захода самолётов на посадку на аэродромы гражданской авиации являются радиомаячные системы посадки метрового диапазона волн формата ILS. В соответствии с требованиями норм [1–3] проектирования объектов посадки КРМ размещается на продолжении оси ВПП со стороны направления, противоположного стороне захода на посадку, на расстоянии 400–1150 м от порога ВПП (в зависимости от длины ВПП, рельефа местности и других местных условий). Рекомендуется устанавливать курсовые радиомаяки таким образом, чтобы обеспечивалась прямая видимость между электрическим центром антенны и опорной точкой (точкой на высоте 15 м над началом ВПП).

В плане лётное поле аэродрома окаймляют боковые и концевые полосы безопасности взлёта и посадки. Концевые полосы безопасности уменьшают опасность аварии в случаях выкатывания самолёта за пределы лётной полосы при посадке. Длина концевой полосы безопасности для аэродромов ГА составляет обычно не менее 400 м. Концевую полосу безопасности по ширине делают равной общей ширине лётного поля. Таким образом, перед КРМ, установленным на расстоянии более 400 м, оказываются складки местности с формой и покровом в естественном состоянии, которые далее переходят в выровненную поверхность КПБ.

Формирование линии курса (глиссады) происходит с участием радиоволн, отражённых от подстилающей поверхности. При этом предполагается, что отражение радиоволн от земной поверхности эквивалентно излучению зеркального отображения антенны. Для обеспечения зеркального отображения перед антенной выравнивают площадку. В плане выровненная площадка и примыкающий к ней участок местности показаны на рис. 9 [3].

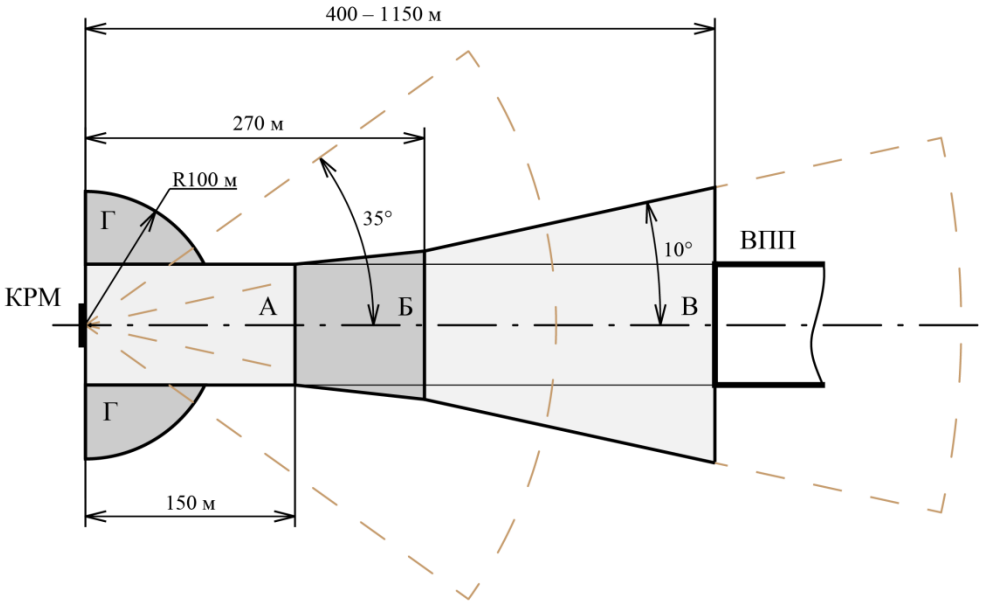


Рис. 9. Зоны курсового радиомаяка в горизонтальной плоскости [3]

По требованиям к местности инструкции по эксплуатации КРМ [3] в зоне В уклоны впадин рельефа протяженностью более 50 м и глубиной менее 10 м допускаются до 0,025. Уклон местности в любом направлении в зонах А и Б должен быть не более 0,01, в зоне Г — не более 0,02.

При проектировании новых и реконструкции действующих аэродромов часто возникают обстоятельства, при которых для установки антенн курсовых радиомаяков требуется выполнение большого объёма земляных работ. В частности, для выполнения требований по ограничению поперечного уклона местности объём земляных работ может достигать нескольких десятков и сотен тысяч кубических метров перемещаемого грунта. Стоимость работ по подготовке площадок для размещения радиомаяков на аэродромах со сложным рельефом местности составляет сумму, большую стоимости КРМ и ГРМ вместе взятых, достигая сотен миллионов рублей.

Представленный анализ показывает, что характеристики курсовых радиомаяков не столь критичны к поперечному уклону местности, как это предполагалось разработчиками нормативных документов. Как следует из анализа, уклон местности перед радиомаяком не приводит к искривлениям линии курса. Уклон местности приводит к уклонению линии курса от оси ВПП. При этом формируемая траектория посадки представляет собой прямую линию. При уклонах подстилающей поверхности до 0,03 угол между этой прямой и осью ВПП составляет величину менее 6 минут. Излом формируемой траектории для захода на посадку и пробежки самолёта по ВПП величиной до 6 минут представляется допустимым для управления самолётом. Поэтому представляется целесообразным в некоторых ситуациях допустить поперечный уклон подстилающей поверхности большей величины, чем это предусмотрено нормативными документами. Площадка непосредственно под антенной КРМ не должна иметь уклона. Однако размеры этой площадки не столь велики. Площадка под антенной должна иметь размеры порядка зоны Френеля для наблюдателя, находящегося в зените. Это означает, что её длина должна быть равна длине антенны плюс $L_1 = \sqrt{\lambda H}$, где λ – длина волны, H – высота подвеса антенны, а ширина площадки равна $L_2 = 2\sqrt{\lambda H}$.

В сложных ситуациях размещения КРМ, когда выполнение нормативных требований затруднено, целесообразно прибегать к электродинамическому моделированию с целью определения не стандартной, но более экономичной инженерной подготовки местности.

Выводы

1. Представлены обобщённые соотношения для вычисления параметров КРМ, учитывающие фазовые диаграммы направленности антенны КРМ для сигналов НБЧ УК, БЧ УК, НБЧ ШК, БЧ ШК.

2. Рассмотрено поведение зависимости разности фаз между сигналами НБЧ УК и НБЧ УК, а также между сигналами НБЧ ШК и НБЧ ШК, обусловленные влиянием поперечного по отноше-

нию к направлению оси ВПП уклона подстилающей поверхности во всей рабочей зоне КРМ. Показано, что в окрестности направления оси ВПП при наличии уклона наблюдается монотонное изменение разности фаз в отличие от скачкообразного изменения, имеющего место в случае расположения КРМ на горизонтальной плоскости.

3. Влияние поперечного уклона местности проявляется:

– в смещении линии курса в УК;

– в изменении уровня РГМ в ШК, причём с правой и с левой сторон от ВПП изменения уровня РГМ происходит в противоположных направлениях;

– при совместной работе УК и ШК наблюдается смещение линии курса, примерно равное смещению линии курса в УК, и изменение уровня РГМ в широкой зоне, аналогичное изменению уровня РГМ в широком канале.

4. Показано, что траектория полёта самолёта при заходе на посадку по глиссаде с КРМ, установленным на площадке с поперечным уклоном до двух градусов, представляет собой практически прямую линию, составляющую с осью ВПП угол величиной менее шести угловых минут. При этом линейное смещение курса над порогом ВПП составляет не более 0,5 м.

5. Судя по представленным материалам, допустимы поперечные уклоны местности перед антенной КРМ большей величины, чем это изложено в инструкциях по размещению КРМ на аэродроме, что может существенно снизить стоимость работ по инженерной подготовке позиций для размещения КРМ в реальных условиях аэродромов.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках комплексного проекта «Создание высокотехнологичного производства антенн и аппаратных модулей для двухчастотного радиомаячного комплекса системы посадки метрового диапазона формата ILS III категории ICAO для аэродромов гражданской авиации, включая аэродромы с высоким уровнем снежного покрова и сложным рельефом местности» по договору № 02.G25.31.0046 между Министерством образования и науки Российской Федерации и Открытым акционерным обществом «Челябинский радиозавод «Полёт» в кооперации с головным исполнителем НИОКТР – Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет).

Литература

1. Приложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации. Авиационная электросвязь. Т. 1: Радионавигационные средства. – Монреаль (Канада): ИКАО, 2006. – 606 с.

2. ВСН 7-86. Нормы проектирования объектов управления воздушным движением, радионавигации и посадки. – М.: Министерство гражданской авиации, 1987.

3. Радиомаяк курсовой СП-90 (ИЦРВ.461512.019ИЭ). – Челябинск: НИИИТ-РТС, 1998. – 91 с.

4. Войтович, Н.И. Моделирование работы двухчастотной системы посадки самолётов / Н.И. Войтович, Б.В. Жданов, А.В. Зотов // Вестник ЮУРГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2013. – Т. 13, № 4. – С. 55–69.

5. Зотов, А.В. Диаграммы направленности антенны курсового радиомаяка ILS на поверхности с поперечным уклоном / А.В. Зотов, Б.В. Жданов, Н.И. Войтович // Вестник ЮУРГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2014. – Т. 14, № 4. – С. 5–27.

6. Баскаков, С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С.И. Баскаков. – М.: Высшая школа. – 2005. – 464 с.

Зотов Андрей Васильевич, аспирант кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); tnt1000@mail.ru.

Жданов Борис Викторович, канд. техн. наук, доцент кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); boris.z@inbox.ru.

Войтович Николай Иванович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой конструирования и производства радиоаппаратуры, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); voytovichni@mail.ru.

Поступила в редакцию 30 августа 2014 г.

Bulletin of the South Ural State University
Series "Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics"
2014, vol. 14, no. 4, pp. 71–88

INFLUENCE OF TRANSVERSE-SLOPE ON INFORMATION PARAMETER ILS LOCALIZER

***A.V. Zotov**, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, tnt1000@mail.ru,*
***B.V. Zhdanov**, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, boris.z@inbox.ru,*
***N.I. Voytovich**, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, voytovichni@mail.ru*

This article presents a generalization of the model localizer antenna that is given in an previously published article (Voytovich N.I., Zhdanov B.V., Zotov A.V. Simulation of the Fwo-Trequency Instrument Landing System, 2013). It was assumed in the mentioned article that localizer (LOC) is located on an underlying surface as a horizontal infinite in all direction plane. The influence of the Earth takes in this case into account the interference factor of the Earth. Then the spatial directivity pattern of the LOC antenna is represented by a product of two functions, one of which depends only on the azimuthal angle, and the other from the meridional angle. It was therefore convenient to consider the interest of magnitude as a function only on the azimuthal angle. We assume in this paper that the antenna array of radiating antenna elements LOC horizontal and the underlying surface in essential for the reflection of radio waves field (in the area of the first Fresnel zone on the underlying surface), represents a portion of a plane with a transverse-slope relative to the direction of the axis of the runway (RWY). It is not possible to divide according to interest values from the azimuthal and meridional angles due to the lack of axial symmetry of the problem.

Keywords: simulation, localizer, glide slope, difference in depth modulation, capture effect.

References

1. Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation. Vol. 1. Radio Navigation Aids. Monreal (Canada), ICAO, 2006. 606 p.

2. *VSN 7-86*. [Design Standards Facilities for Air Traffic Control, Navigation and Landing]. Moscow, Ministry of Civil Aviation, 1987. (in Russ.)

3. *Radiomayak kursovoy SP-90 (ITsRV.461512.019IE)* [Localizer SP-90]. Chelyabinsk, NIIIT-RTS, 1998. 91 p.

4. Voytovich N.I., Zhdanov B.V., Zotov A.V. [Simulation of the Two-Frequency Instrument Landing System]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2013, vol. 13, no. 4, pp. 55–69. (in Russ)

5. Zotov A.V., Zhdanov B.V., Voytovich N.I. [Antenna Pattern of ILS Localizer on the Surface with Transverse-Slope]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2014, vol. 14, no. 4, pp. 5–27. (in Russ)

6. Baskakov, S.I. *Radiotekhnicheskie tsepi i signaly* [Radio Circuits and Signals]. Moskow, Vysshaja shkola Publ., 2005. 464 p. (in Russ.)

Received 30 August 2014