

Одним из наиболее сложных этапов полёта является заход самолёта на посадку. Основным средством обеспечения захода на посадку самолётов как гражданской, так и военной авиации являются радиомаячные системы инструментального захода воздушного судна на посадку (РМС), включающие в себя курсовой и глиссадный радиомаяки (КРМ и ГРМ).

Актуальность настоящей работы обусловлена необходимостью создания эффективных, научно-обоснованных алгоритмов прогнозирования параметров (КРМ и ГРМ) по заданному рельефу местности в зоне захода самолётов на посадку.

На рис. 1 представлен аэродром в горах центральной Азии с расположенными на нём КРМ и ГРМ.

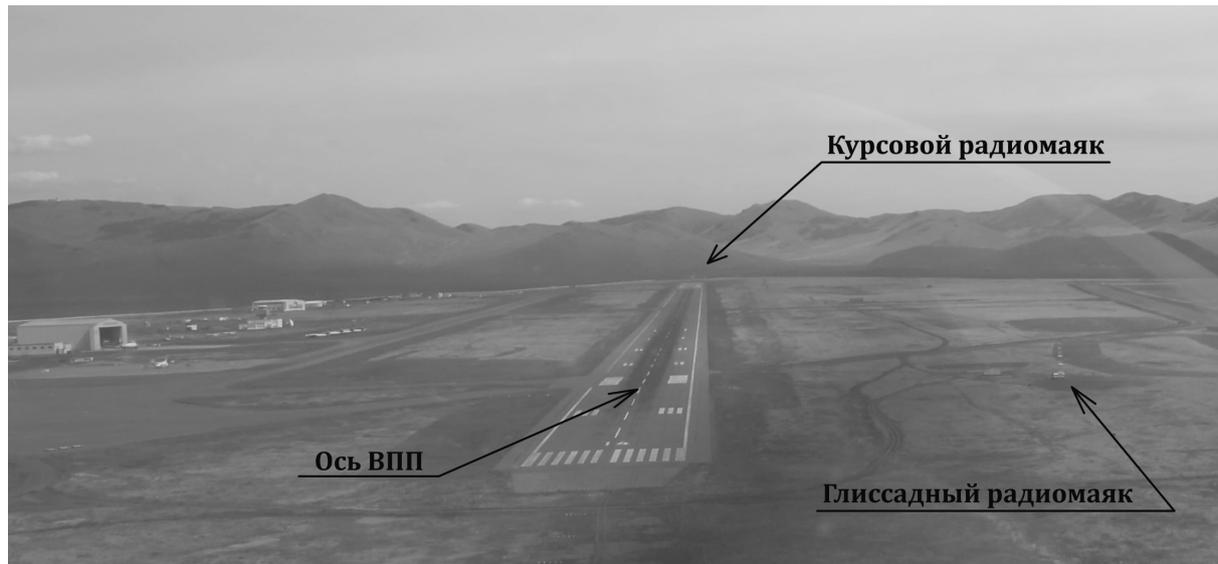


Рис. 1. Вид на аэродром при заходе на посадку

Луч, показывающий самолёту траекторию захода на посадку, создаётся в результате пересечения вертикальной курсовой плоскости, создаваемой курсовым радиомаяком, расположенным на продолжении осевой линии взлётно-посадочной полосы (ВПП), и наклонной глиссадной плоскости, формируемой глиссадным радиомаяком, располагаемым вблизи порога полосы (рис. 2).

Реальная ситуация на аэродромах такова, что вместо луча (прямой линии) наблюдается некая кривая, поведение которой определяется влиянием рельефа местности в зоне захода самолётов на посадку.

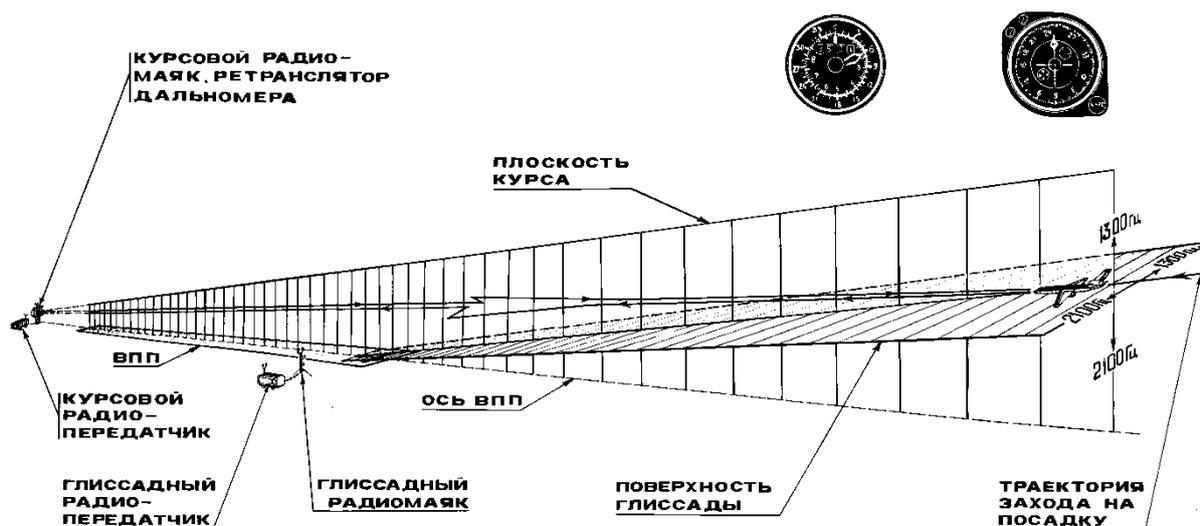
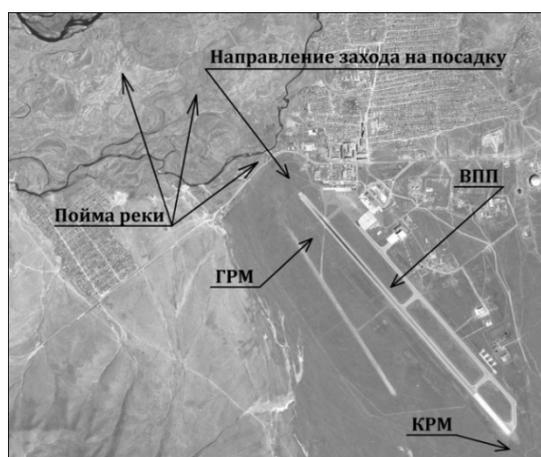
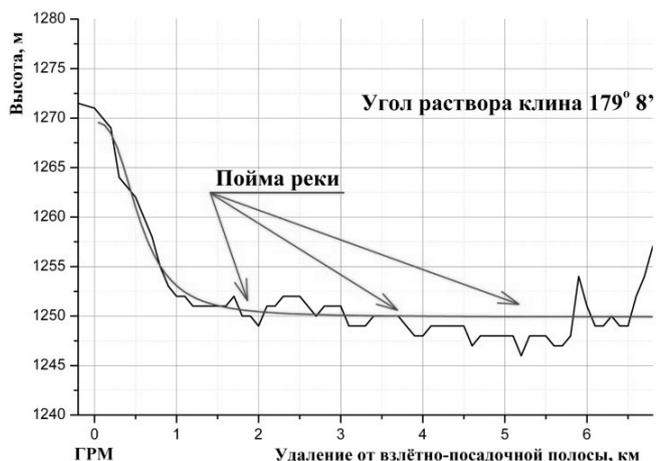


Рис. 2. Формирование радиотехнической траектории захода на посадку

На рис. 3, а представлен вид сверху на упомянутый на рис. 1 аэродром. Взлетно-посадочная полоса и концевая полоса безопасности расположены на нисходящем участке местности, который продолжается поймой реки.



а)



б)

Рис. 3. Аэродром, расположенный в горной местности (а), и профиль рельефа (б)

В результате профиль местности вдоль оси ВПП имеет форму клина с углом раствора $179^{\circ}8'$ (рис. 3, б). В докладе также представлен другой аэродром, расположенный на границе Урала и Сибири. ВПП и концевая полоса безопасности на этом аэродроме расположены на плато, которое в направлении осевой линии ВПП продолжается уклоном в сторону тектонического разлома Земной поверхности. В результате профиль местности перед ГРМ имеет форму клина с углом раствора $180^{\circ}31'$.

Представленный пример и другие примеры [1] показывают целесообразность аппроксимации рельефа перед ГРМ на аэродромах в пересеченной местности клином.

Учитывая тот факт, что в системах посадки применены волны горизонтальной поляризации, а углы скольжения волн составляют величину около трёх градусов, естественно полагать грани клина идеально проводящими.

Строгое решение задачи дифракции волн на клине с идеально проводящими гранями в виде контурного интеграла на плоскости комплексного переменного известно давно [2]. Однако непосредственное вычисление контурного интеграла на ЭВМ встречает затруднения. Поэтому в том случае, когда источник излучения и точка наблюдения находятся на большом в длинах волн расстоянии от ребра клина для исследования структуры электромагнитного поля обычно используют коротковолновые асимптотические разложения строгого решения. Однако, ранее известные коротковолновые асимптотические разложения решения этой задачи в случае, когда угол раствора клина близок к 180° , оказываются не применимыми.

Как было выяснено, это обусловлено тем, что обычно при асимптотическом вычислении интеграла учитывают лишь те полюса подынтегральной функции, которые расположены на отрезке $(-\pi, +\pi)$ действительной оси (между точками перевала). В действительности, необходимо учитывать ещё полюса, расположенные вблизи точек перевала за пределами контура интегрирования, охватывающего полюса на отрезке $(-\pi, +\pi)$. В работе [1] учтены эти полюса, существенные для приближённого решения задачи. Однако полученное решение имеет не обозримый вид и физическая интерпретация полученных результатов затруднена. В настоящем докладе приведено решение в более простом виде. Оно представляет собой сумму четырех полутеневых волн, описываемых интегралами Макдональда.

$$\dot{F}_n(\vec{r}) \approx \frac{R}{2} \left[M(\varphi - \varphi_n^{\text{III}}) + M(\varphi - \varphi_n^{\text{II}}) + M(\varphi - \varphi_n^{\text{I}}) + M(\varphi - \varphi_n^{\text{IV}}) \right],$$

где

$$M(\beta) = M_1 \left(\frac{2\sqrt{r_n r}}{R(\pi - \beta)} \sin \frac{\beta}{2}, kR(\pi - \beta) \right);$$

$$R(\alpha) = \sqrt{r_n^2 + r^2 - 2r_n r \cos \alpha};$$

$$M_m(x, y) = \int_{-\infty}^{\text{Ar sh } x} H_m^{(1)}(y \cdot \text{ch } \xi) \frac{d\xi}{(\text{ch } \xi)^{m-1}} - \text{интеграл Макдональда порядка } m.$$

ка m .

Обозначения приведены в [3]. Интеграл Макдональда является обобщением интеграла Френеля на случай, когда источник излучения и точка наблюдения расположены на конечном расстоянии от ребра клина.

В докладе приведены соотношения, которые сводят вычисление интеграла Макдональда по бесконечному промежутку к вычислению суммы функции Грина для свободного пространства и интеграла по конечному промежутку. Полученные при этом формулы удобны для использования в разработанной программе счета амплитудных и фазовых диаграмм направленности антенн по асимптотическим формулам.

Для получения экспериментальных данных были проведены измерения на макете клина [3]. Расчётные данные по асимптотическим формулам находятся в хорошем количественном соответствии с экспериментальными данными.

В дальнейшем для учёта участка местности, расположенного далее на трассе распространения волн в зоне захода самолётов на посадку планируется использование модели подстилающей поверхности перед ГРМ состоящей из совокупности двух участков:

- клиновидного участка, отображающего излом поверхности на стыке выровненной поверхности летного поля с естественной поверхностью долин рек, склонов балок;

- участка местности, расположенного далее на трассе распространения волн в зоне захода самолётов на посадку, которые целесообразно отображать цифровой моделью местности.

Отражение волн от участка, заданного цифровой моделью может быть вычислено с помощью электродинамического принципа Гюйгенса–Котлера.

При этом в качестве падающего поля целесообразно задать поле волны, испытавшей дифракцию на клиновидном участке.

Прогнозирование характеристик радиомаяков при этом должно:

- существенно сократить дорогостоящее лётное время на настройку радиомаяков при их вводе в эксплуатацию;

- быть эффективным путем снижения дорогостоящих земляных работ по инженерной подготовке площадок перед антеннами курсового и глиссадного радиомаяка.

Библиографический список

1. Войтович, Н.И. Дифракция электромагнитных волн в некоторых технических задачах / Н.И. Войтович // Труды XXIII Российской школы по проблемам науки и технологий. – М.: РАН. – 2003. – С. 538–554.

2. Sommerfeld, A. Mathematische Theorie der Diffraction / A. Sommerfeld // *Mathematische Annalen*. Leipzig. – 1896. – Vol. 47. – P. 317–374.

3. Зотов, А.В. Дифракция волн на клине в геометро-оптическом приближении / А.В. Зотов, Н.И. Войтович // *Инженерно-измерительные и управляющие системы и устройства: сборник научных трудов Приборостроительного факультета ЮУрГУ* / Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – В печати.