

УДК 621.396.933.23

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АППАРАТНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МОБИЛЬНОЙ МНОГОПОЗИЦИОННОЙ РАДИОДАЛЬНОМЕРНОЙ НАВИГАЦИОННО-ПОСАДОЧНОЙ АЭРОСИСТЕМЫ В ЕЁ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ

Я.В. КОНДРАШОВ, Т.С. ФИАЛКИНА, А.П. РЯБЕЦ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Логвиным А.И.

В статье рассмотрена концепция структурирования радиоаппаратных, математических и алгоритмических средств в обеспечении вычислительных операций по определению местоположения воздушных судов в пространственных конфигурациях мобильной (переносной) многопозиционной радиодальномерной запросно-ответной навигационно-посадочной системы. Проведено математическое моделирование алгоритмов терминального управления движением летательных аппаратов. Представлены результаты расчетов потенциальных характеристик системы и их анализа на соответствие международным требованиям по безопасности полетов.

**Ключевые слова:** воздушное судно, многопозиционная система, навигация, посадка, алгоритм функционирования, структурная схема, точносные характеристики определения местоположения, бортовое оборудование.

### Введение

Одним из вариантов навигационного ориентирования воздушного судна (ВС) в районах, например, на трассах и аэродромах местных воздушных линий (МВЛ), где по тем или иным причинам применение сложного и дорогостоящего стационарного навигационного оборудования нежелательно либо невозможно, является определение местоположения (МП) по методу двух, трех и более дальностей [1], которые измеряются от ВС до малогабаритных (переносных) радиомаяков, расположение (позиция) которых известно, в том числе в координатах взлетно-посадочной полосы (ВПП). Такая мобильная радиодальномерная запросно-ответная многопозиционная система посадки легких летательных аппаратов (ЛА) (МПСЛ), структурированная на основе сигналообразующих технологий DME (Distance Measuring Equipment), описана в [2], где обоснованы ее параметры.

### Методы решения задачи навигации и посадки при наличии штатных дальномеров на борту воздушного судна и наземных радиомаяков-ответчиков DME

Для принципиальной возможности определения местоположения ВС в вертикальной и горизонтальной плоскостях, т.е. возможности посадки с помощью только дальномерной аппаратуры, необходимо измерить координаты дальности  $D_1, D_2, D_3$  от ВС до каждого из трех территориально размещенных маяков-ответчиков в момент времени, в течение которого взаимное расположение ВС и наземного оборудования можно считать неизменным. Взаимное расположение ВС, маяков и ВПП представлено на рис. 1, где  $O$  – точка текущего расположения ВС;  $A, B, C$  – места размещения маяков 1, 2, 3;  $a, b, c$  –

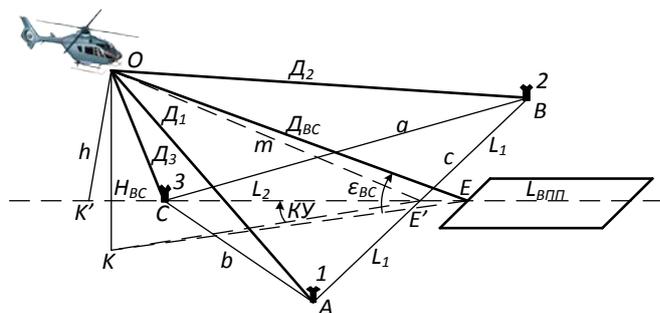


Рис. 1. Взаимное расположение ВС и наземных маяков-ответчиков

базы маяков 1, 2, 3;  $EE' = L_{ЛМ}$  – расстояние от торца ВПП до базы маяков 1, 2;  $L_2$  – расстояние от торца ВПП до ответчика 3;  $AE' = E'B = L_1$  – расстояние от продолжения оси ВПП до маяков 1, 2;  $D_1, D_2, D_3$  – наклонные дальности от ВС до ответчиков 1, 2, 3;  $D_{BC}, H_{BC}, KU, \epsilon_{BC}$  – наклонная дальность, высота, курсовой угол и угол места ВС в системе координат

нат, связанной с ВПП;  $EK'$  – продолжение оси ВПП;  $K'$  – проекция точки  $O$  на продолжение оси ВПП;  $K$  – проекция точки  $O$  на плоскость, содержащую ВПП.

Как видно из рис. 1, в каждый момент времени взаимное расположение ВС и маяков-ответчиков представляет собой условную фигуру  $OABC$  – трехгранную пирамиду с вершиной  $O$  в точке текущего положения ВС. Базы маяков  $a, b, c$  представляют собой известные, установленные для всех аэродромов и посадочных площадок расстояния, являющиеся основанием пирамиды. Ребра пирамиды – измеряемые значения дальностей  $D_1, D_2, D_3$ .

Для определения местоположения ВС в вертикальной и горизонтальной плоскостях достаточно определить величины  $D, КУ, Н$  (или  $\varepsilon$ ) на основании измеряемых величин  $D_1, D_2, D_3$ .

В предположении симметричного расположения ответчиков относительно продолжения оси ВПП объем указанной трехгранной пирамиды с одной стороны можно вычислить по формуле

$$V^2 = \frac{1}{288} \begin{vmatrix} 0 & b^2 & 4L_1^2 & 1 \\ b^2 & 0 & a^2 & 1 \\ 4L_1^2 & a^2 & 0 & 1 \\ D_1^2 & D_3^2 & D_2^2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix} = \frac{1}{288} D_{оп}, \quad (1)$$

а с другой стороны по формуле

$$V = \frac{1}{3} S_{II} H_{BC}. \quad (2)$$

В выражении (2)  $S_{II}$  – площадь основания пирамиды, равная произведению известных для каждого типа аэродрома величин

$$S_{II} = L_1 (L_2 - L_{ЛМ}) = const. \quad (3)$$

Из выражений (1), (2) и (3) можно определить  $H_{BC}$

$$H_{BC} = \frac{3}{\sqrt{288}} \frac{\sqrt{D_{оп}}}{S} = const \sqrt{D_{оп}}. \quad (4)$$

Из треугольников  $OK'E$  и  $OK'C$ , лежащих в плоскости, проходящей через ось ВПП и точку  $O$ , после преобразований можно получить значение дальности  $D_{BC}$

$$D_{BC}^2 = \frac{[2(D_1^2 + D_2^2) - 4L_1^2] L_2 - L_{ЛМ} D_3^2}{4(L_2 - L_{ЛМ})} + L_{ЛМ} L_2. \quad (5)$$

По этим данным можно вычислить курсовой угол и угол места ВС:

$$КУ_{BC} = \arccos \frac{L_{ЛМ} + \frac{D_3^2 - m^2 - (L_2 - L_{ЛМ})^2}{2(L_2 - L_{ЛМ})}}{\sqrt{D_{BC}^2 - H_{BC}^2}}; \quad (6)$$

$$\varepsilon_{BC} = \arcsin \frac{H_{BC}}{D_{BC}}. \quad (7)$$

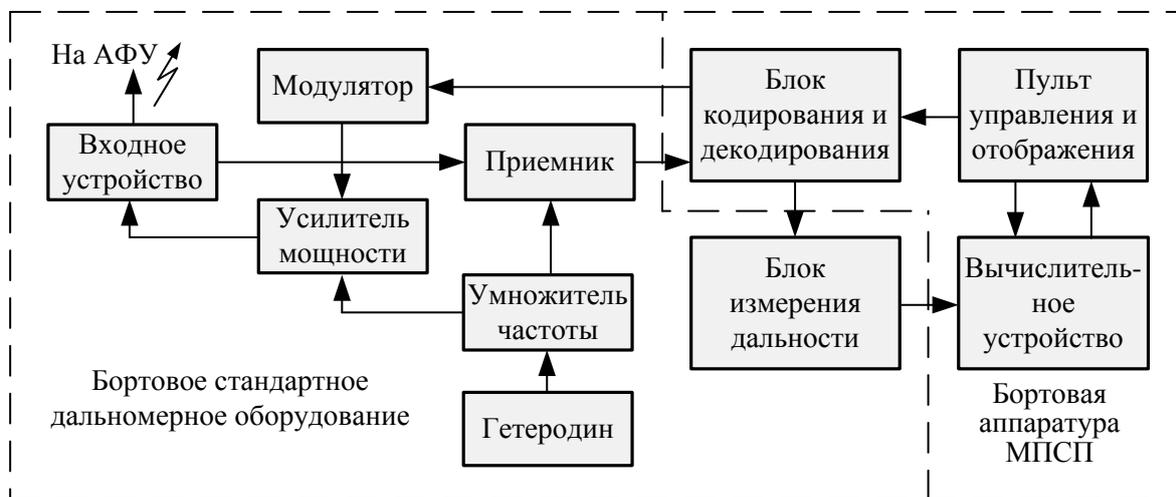
Вводя с пульта управления по выбору экипажа опорные значения координат, можно аналогичным образом вычислить:

$$\begin{aligned} КУ_{BC} - КУ_{оп} &= \Delta КУ \rightarrow 0; \\ \varepsilon_{BC} - \varepsilon_{оп} &= \Delta \varepsilon \rightarrow 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Эти значения отклонений от опорных траекторий посадки также выводятся на индикаторные табло пульта управления для информации экипажу по управлению полетом ВС в соответствии с алгоритмом (8). Естественно, что навигационная задача при наличии штатных высот-

меров на борту ВС решается аналогичным образом, при этом наличия маяка-ответчика 3 и вычислений, связанных с вертикальной плоскостью, не требуется.

Блок-схема бортовой аппаратуры МПСП, взаимодействующей со стандартной дальномерной аппаратурой СД-67, СД-75 [3-4], представлена на рис. 2.



**Рис. 2.** Блок-схема бортовой аппаратуры МПСП, взаимодействующей со стандартным дальномерным оборудованием

Алгоритмы функционирования и навигационно-посадочная система, в целом, работают следующим образом. С пульта управления по решению экипажа ВС устанавливаются:

- номер программы установки кодовых комбинаций для канала запроса и канала ответа. Наличие нескольких программ работы бортового и наземного оборудования может использоваться как для повышения электромагнитной совместимости близкодействующих наземных средств, так и для различения аэродромов или навигационных точек. При этом номер программы установки кодовых комбинаций соответствует условному номеру аэродрома или навигационной точки, что, в свою очередь, определяется полетным заданием. Предполагается использовать 4-5 программ кодовых комбинаций;

- номер траектории посадки ВС. Математическое формирование опорных траекторий по курсу и глиссаде дает возможность выполнять их в требуемых количествах и производить их выбор по решению экипажа. Предполагается использовать 3-4 варианта траекторий по курсу и глиссаде.

После установки вышеперечисленных параметров модулятор дальномера управляет излучением передатчика в соответствии с кодом запроса. Принятый сигнал запроса дешифрируется в маяке и в соответствии с кодом ответа излучается ответный сигнал. Связь кодов запроса и ответа жесткая и никаких управляющих воздействий для маяка не требуется.

После принятия ответного сигнала бортовой аппаратурой происходит измерение дальности  $D_1$ . После программной перестройки кодов запроса и соответственно ответа происходит измерение  $D_2$  затем аналогично осуществляется измерение  $D_3$ . Процесс перестройки кодов и измерения координат  $D_1, D_2, D_3$  происходит в течение небольшого интервала времени (доли секунды), при котором взаимное положение ВС и маяков-ответчиков можно считать неизменным. Такая последовательность работы повторяется периодически, например, начиная со входа ВС в зону действия системы посадки до точки перехода на визуальный полет.

По измеренным величинам  $D_1, D_2, D_3$  на всем этапе работы вычисляются отклонения от курса и глиссады по выражениям (1)-(8) и в виде аналоговых величин выводятся на индикаторные табло.

Навигационная задача при взаимодействии бортовой дальномерной аппаратуры с маяками-ответчиками решается подобным образом относительно маяков 1 и 2, а маяка 3 и вычислений, связанных с вертикальной плоскостью, не требуется. Возможно также использование непосредственных измерений высоты  $H_{ВС}$  радиолокационными высотомерами.

**Точностные характеристики МПСП**

Анализ точностных характеристик системы проведем с точки зрения возможности обеспечения посадки ВС по I категории ICAO [5; 6]. При этом можно предположить, что при удовлетворении требованиям посадки по I категории навигационные задачи в смысле выдерживания норм эшелонирования будут выполнены даже с запасом по точности.

Существующие регламентирующие требования для систем посадки определяют область допустимых линейных отклонений траектории посадки ВС в горизонтальной и вертикальной плоскостях, в том числе в точке перехода на визуальный полет. В горизонтальной плоскости по I категории ICAO линейное боковое отклонение не должно превышать ± 60 м [5]. В той же точке перехода на визуальный полет требований по линейным отклонениям в вертикальной плоскости не предъявлено.

Точностные характеристики системы посадки, а именно, точность формирования радиотехнических траекторий по курсу и глиссаде, наряду с погрешностями измерителей координатной информации – радиодальномеров, радиовысотомеров, зависят от взаимного расположения ВС и маяков-ответчиков. Поэтому исследование точностных характеристик в точке перехода на визуальный полет проведено для различных вариантов размещения маяков.

Первый (“поперечный”) вариант размещения маяков относительно ВПП при оценке местоположения ВС представлен на рис. 1.

**Оценка горизонтальных отклонений ВС от линии курса**

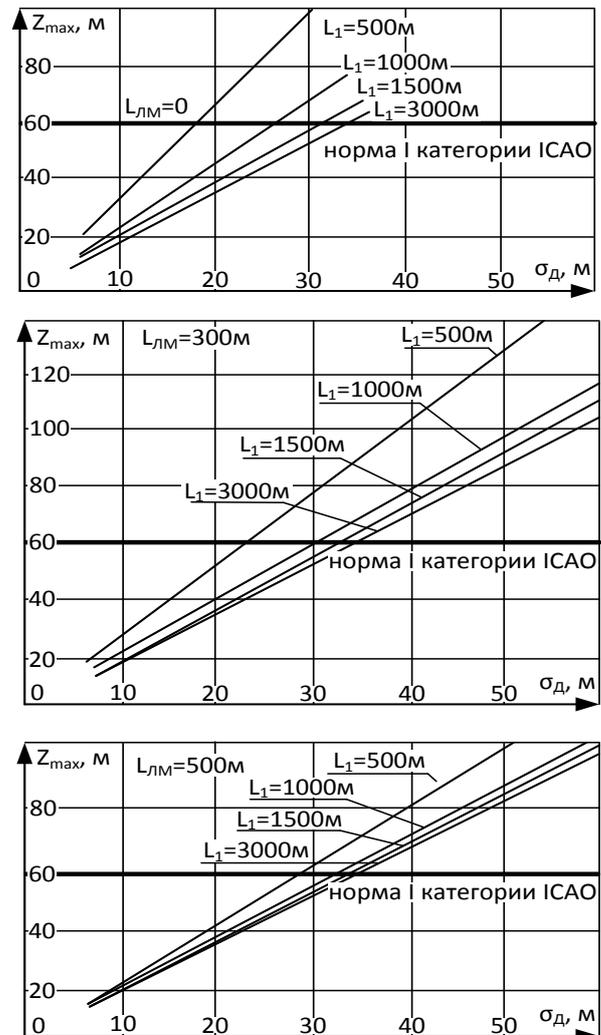
В данном случае при размещении маяков-ответчиков согласно рис. 1 линейное боковое отклонение ВС от курсовой линии определяется по формуле

$$Z = \frac{D_1^2 - D_2^2}{4L_1} \tag{9}$$

Здесь величина  $Z$  является нелинейной функцией двух измеряемых случайных величин  $D_1$  и  $D_2$ . Следовательно, аналитическим путем найти зависимость  $Z$  от среднеквадратической ошибки измерения дальности  $\sigma_{D_1} = \sigma_{D_2} = \sigma_D$  затруднительно. Поэтому оценка величины  $Z$  проведена методами статистического моделирования. Выборки случайных величин, какими являются измерения дальномера  $D_1$  и  $D_2$  предполагались распределенными по нормальному закону с заданными математическими ожиданиями и дисперсиями, а затем строились гистограммы величин  $Z$ . Величины максимальных отклонений  $-Z_{max}$  и  $Z_{max}$  определялись из условия

$$\left| n_{[z_1, -z_{max})} + n_{(z_{max}, z_2]} - (1 - P_z) \right| \leq \varepsilon, \tag{10}$$

где  $n_{[z_1, -z_{max})}, n_{(z_{max}, z_2]}$  – частоты попаданий выборок  $Z$  в соответствующие промежутки;  $z_1, z_2$  – границы совокупности значений  $Z$ ;  $P_z$  – вероятность успешного захода на посадку. Согласно [4], данная вероятность должна быть  $P_z = 0,988$ ;  $\varepsilon$  – точность оценки;  $\varepsilon = 10^{-8}$ .



**Рис. 3.** Зависимость линейного бокового отклонения от среднеквадратической ошибки измерения дальности ( $P_\varepsilon = 0,988$ )

По алгоритму (10) были рассчитаны (рис. 3) максимальные возможные линейные боковые отклонения  $Z$ , соответствующие вероятности  $P_Z = 0,988$  в точке перехода ВС на визуальный полет при различных значениях параметров  $\sigma_d, L_1, L_{ЛМ}$ .

Из рис. 3 следует, что при определенном размещении маяков-ответчиков можно добиться удовлетворения требований ИСАО по точности при значении  $\sigma_d \leq 30$  м. Это значение среднеквадратической ошибки измерения дальности реализуется в прецизионных системах DME – DME/P, применяющихся в микроволновых системах посадки MLS (Microwave Landing System) [6].

### Оценка вертикальных отклонений ВС от линии глиссады

В точке перехода на визуальный полет жесткие требования к вертикальным отклонениям не предъявляются. Считается [5], что для успешной посадки более существенны боковые отклонения ВС. Однако вертикальные отклонения также подлежат оценке.

Для размещения маяков-ответчиков соответственно рис. 1 и при наличии дальномера и высотомера на борту ВС угол места  $\varepsilon_{BC}$  определяется по формуле (7). Наклонная дальность  $D_{BC}$  определяется по формуле

$$D_{BC} = \sqrt{m^2 + L_{ЛМ}^2 + 2L_{ЛМ}\sqrt{m^2 + H_{BC}^2 + Z^2}}, \tag{11}$$

где 
$$m^2 = \frac{1}{2}\sqrt{2(D_1^2 + D_2^2) - (2L_1)^2}, \tag{12}$$

а  $Z$  определяется выражением (9).

Максимальное допустимое отклонение по углу места от линии глиссады определяется по формуле

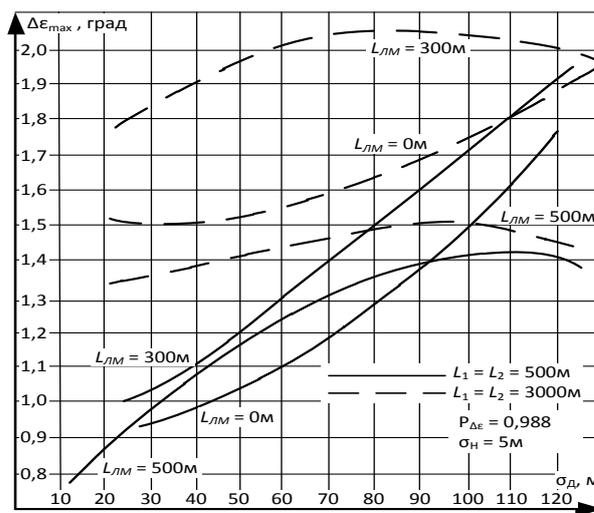
$$\Delta\varepsilon_{\max} \approx |\varepsilon_{\min} - \varepsilon_u| = |\varepsilon_{\max} - \varepsilon_u|, \tag{13}$$

где  $\varepsilon_u$  – истинное значение угла места,

$$\varepsilon_u = \frac{H_u}{\sqrt{L_{МАН}^2 + L_{ЛМ}^2 + 2L_{ЛМ}\sqrt{L_{МАН}^2 - H_{BC}^2}}}; \tag{14}$$

$H_u$  – истинное значение высоты ВС. В точке перехода визуальный полет  $H_u = 60$  м;  $L_{МАН}$  – дистанция маневрирования. В точке перехода на визуальный полет  $L_{МАН} = 820$  м;  $\varepsilon_{\min}, \varepsilon_{\max}$  – допустимые минимальное и максимальное значения угла места при вероятности успешного захода на посадку  $P_\varepsilon = 0,988$ .

Поскольку угол места определяется как нелинейная функция трех измеряемых случайных величин –  $D_1, D_2, H$ , то аналитически найти плотность распределения и числовые характеристики величины  $\varepsilon$  затруднительно. Поэтому оценка  $\varepsilon$  проведена методами статистического моделирования. Выборки величин  $D_1, D_2, H$  предполагались распределенными по нормальному закону с заданными математическими ожиданиями и дисперсиями, а затем строились гистограммы величин  $\varepsilon$ . По алгоритму (10) были рассчитаны величины  $\varepsilon_{\min}$  и  $\varepsilon_{\max}$ . Максимальные отклонения  $\Delta\varepsilon$ , соответствующие вероятности  $P_\varepsilon = 0,988$ , определены для различных значений параметров  $L_1, L_{ЛМ}, \sigma_d, \sigma_H$ .



**Рис. 4.** Зависимость отклонений по углу места от среднеквадратической ошибки измерения дальности

Результаты представлены на рис. 4. Из рис. 4 следует, что при значениях  $\sigma_D = 30\text{ м}$ ,  $\sigma_H = 5\text{ м}$  (данные для радиовысотомера РВ 5 [4]),  $L_1 = 500\text{ м}$  и  $L_{ЛМ} = 0$  можно получить значение  $\Delta\varepsilon = 0,9^\circ$ . Это в точке перехода на визуальный полет соответствует линейному отклонению по высоте  $\Delta H \approx 13\text{ м}$ . Пересчитанные по линейной зависимости допустимые (по I категории) отклонения по высоте в опорной точке, на высоте  $15\text{ м}$ ,  $\Delta H = \pm 3\text{ м}$  [4], в точку перехода на визуальный полет приводят к требуемой величине  $\Delta H = 12\text{ м}$ . Следовательно, чтобы удовлетворить требованиям I категории ИКАО по точности формирования радиотехнической траектории глиссады, необходимо предусматривать дополнительные меры по повышению указанной точности. Учитывая, что погрешности измерительных приборов – дальномера и высотомера стандартизованы, повышение точности в данном случае возможно за счет применения алгоритмов сглаживания координатной информации.

### Оценка отклонений ВС от линий курса и глиссады при продольном размещении маяков

Другой (“продольный”) вариант размещения маяков относительно ВПП при оценке местоположения ВС с помощью стандартного дальномера и высотомера представлен на рис. 5.

При наличии дальномера на борту ВС, основываясь на методике и исходных данных, описанных ранее, путем статистического моделирования определены отклонения по углу места  $\Delta\varepsilon$ , соответствующие вероятности  $P_\varepsilon = 0,988$ . Результаты моделирования представлены на рис. 6.

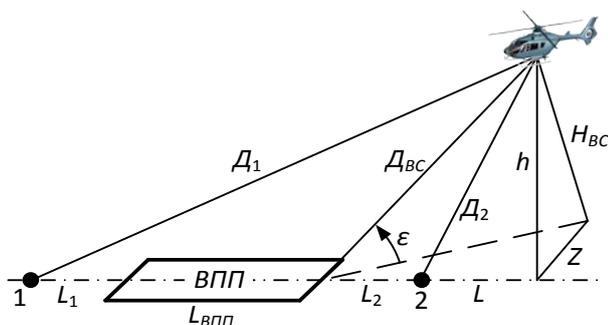


Рис. 5. Продольный вариант размещения маяков-ответчиков относительно ВПП

Из рис. 6 следует, что при тех же численных параметрах, что представлены выше: длине ВПП и определенной величине  $L_1$ , можно получить такие же значения отклонения  $\Delta\varepsilon$ , как и для поперечного варианта размещения маяков-ответчиков.

### Оценка вертикальных отклонений ВС от линии глиссады при наличии на борту только дальнометров ДМЕ

При наличии только дальнометра на борту ВС и трех маяков-ответчиков в районе ВПП (рис. 1) наряду с возможностью оценки местоположения ВС в горизонтальной плоскости существует возможность оценки местоположения в вертикальной плоскости.

На рис. 7 представлены результаты вычислений отклонений по высоте  $\Delta H/H_{ВС}$  в соответствии с формулами (1) – (4) в зависимости от геометрии размещения маяков при  $\sigma_{D1} = \sigma_{D2} = \sigma_{D3} = \sigma_D$ .

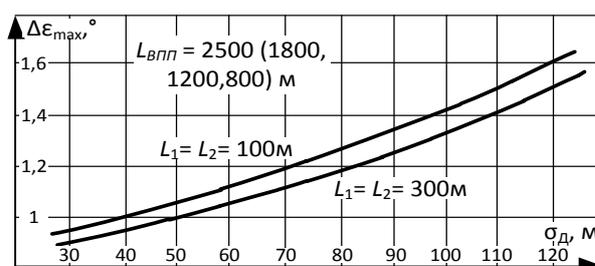


Рис. 6. Зависимость отклонений по углу места от среднеквадратической ошибки измерения дальности ( $P_\varepsilon = 0,988$ )

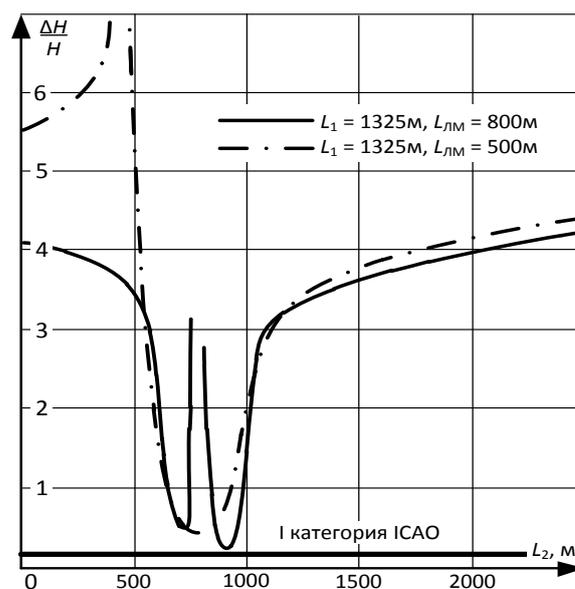


Рис. 7. Зависимость относительного отклонения по высоте от расстояния до 3-го маяка-ответчика

Из рис. 7 можно заключить, что при определенном размещении ответчиков, требованиям I категории ICAO по точности в точке перехода ВС на визуальный полет могут удовлетворить прецизионные дальномеры типа DME/P [7], у которых  $\sigma_D = 30$  м.

### Выводы

1. Анализ точности многопозиционной радиотехнической навигационно-посадочной системы МПСП выполнен с точки зрения возможности посадки ВС МВЛ по I категории ICAO. При этом можно предположить, что для той же самой системы точность навигации ВС в смысле выдерживания норм эшелонирования будет обеспечена с запасом.

2. Навигационно-посадочная система должна формировать радиотехнические траектории посадки с такой точностью, чтобы результирующая погрешность, обусловленная как погрешностями радиотехнических датчиков, так и погрешностью движения ВС, удовлетворяла бы требованиям I категории ICAO по линейным боковым отклонениям и отклонениям по высоте в точке перехода на визуальный полет с вероятностью не менее 0,988.

3. Для всех групп ВС МВЛ, классифицированных в зависимости от комплектации штатной бортовой аппаратурой (дальномеры, высотомеры), существует возможность выполнения требования I категории ICAO по точности посадки в точке перехода на визуальный полет.

4. Для обеспечения точности посадки необходимо, чтобы радиотехническая система производила соответствующие измерения со следующими значениями среднеквадратических ошибок:

по дальности  $\sigma_D = 30$  м ( $D = 820$  м);

по высоте  $\sigma_H = 3-4$  м ( $H = 60$  м).

Данные численные значения реализуемы при взаимодействии маяков-ответчиков со штатной бортовой аппаратурой – дальномером DME/P, высотомером РВ-5.

При наличии дальномера DME/P на борту ВС использование высотомера для определения местоположения в вертикальной плоскости необязательно.

5. На точность определения местоположения ВС в обеих плоскостях существенное влияние оказывает, в том числе, расположение маяков-ответчиков относительно ВПП. Наиболее предпочтительное – "поперечное" расположение маяков (рис. 1) со значениями:

$L_{LM}$  – вынос маяков по направлению точки перехода на визуальный полет относительно торца ВПП ~500 м;

$2L_1$  – расстояние между 1 и 2 маяком относительно продолжения оси ВПП ~  $2 \times 1300$  м;

$L_2$  – расстояние от торца ВПП до 3 маяка, находящегося на продолжении оси ВПП, ~ 800 м.

### Заключение

1. Радиотехническая система навигации и посадки ВС МВЛ должна проектироваться, основываясь на следующих принципах:

- ограничение введения нового бортового оборудования;
- максимальное использование (комплексирование) имеющегося штатного бортового оборудования;
- упрощенное построение наземного оборудования;
- упрощенная эксплуатация наземного оборудования.

2. Исследуемая система навигации и посадки МПСП на основе ненаправленных маяков-ответчиков, работающая в режиме "запрос-ответ" и использующая бортовые радиодальномеры и, в некоторых случаях, высотомеры, в сравнении с существующими системами [8] наиболее полно отвечает принципам построения указанных систем для ВС МВЛ.

3. При наличии штатного бортового дальномера на борту ВС основой определения местоположения ВС является автоматическое измерение дальности до каждого маяка-ответчика с последующим вычислением отклонений от выбранных с пульта управления траекторией полета. Существует возможность в этом случае вычисления местоположения ВС в вертикальной плоскости без использования радиолокационного высотомера.

4. Ориентировочный вес бортового оборудования МПСР составляет 2-3кг. Ориентировочный вес наземного маяка-ответчика МПСР составляет 15кг с автономным источником питания [9].

5. При взаимодействии маяков-ответчиков с бортовым дальномером существует возможность обеспечить формирование радиотехнической траектории посадки в горизонтальной плоскости с точностью, удовлетворяющей требованиям I категории ИСАО. Существует также возможность удовлетворить требованиям I категории посадки в вертикальной плоскости как при взаимодействии бортовой аппаратуры МПСР с радиолокационным высотомером, так и без него, с помощью измерения 3-х дальностей до 3-х наземных маяков-ответчиков. С точки зрения точности формирования радиотехнических траекторий посадки наиболее предпочтительное – "поперечное" расположение маяков-ответчиков в соответствии с рис. 1.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кондрашов В.И., Максименко М.Д., Чижский Б.В., Шульман А.Г. Система определения местоположения самолетов. Авторское свидетельство на изобретение № 1473842 от 8.01.89г., приоритет 03.07.87 г.
2. Кондрашов В.И., Никонов Е.А., Чижский Б.В., Шульман А.Г. Радиотехническая навигационно-посадочная система с активным запросом-ответом. Авторское свидетельство на изобретение №1566948 от 22.01.90г., приоритет 21.03.88г.
3. Самолетный дальномер СД-75. Руководство по технической эксплуатации. (1.247.221 РЭ), Казенное предприятие «Радиоизмеритель», г. Киев, 1980.
4. Сосновский А.А., Хаймович И.А. Авиационная радионавигация: справочник. - М., Транспорт, 1980.
5. Белгородский С.Л. Автоматизация управления посадкой самолетов. - М., Транспорт, 1971.
6. Приложение 10 ИСАО, поправка 63, с. 105L.
7. Самолетный дальномер ДМЕ/Р. Руководство по технической эксплуатации (1.247.275.РЭ), Казенное предприятие «Радиоизмеритель», г. Киев, 1988.
8. Кондрашов Я.В., Фиалкина Т.С. Информационно-системотехнический анализ приоритетности радиотехнических навигационно-посадочных средств для легкомоторной авиации // Науково-практичний інформаційний журнал «Науково-технічна інформація», Український інститут науково-технічної і економічної інформації (УкрІНТЕІ). - 2010. - № 1 (43). - С. 45-50.
9. Кондрашов Я.В., Фиалкина Т.С. Эксплуатационные характеристики мобильной многопозиционной радиодальномерной системы посадки летательных аппаратов // Збірник наукових праць «Проблеми інформатизації та управління», Національний авіаційний університет, № 4 (22), Київ, 2007, с. 75-81.

#### MODELING OF HARDWARE AND ALGORITHMIC STRUCTURE OF MOBILE MULTIPOSITIONING RADIO RANGEFINDING NAVIGATION AND LANDING AEROSYSTEM IN ITS SPATIAL CONFIGURATION

Kondrashov Ya.V., Fialkina T.S., Ryabets A.P.

The concept of structuring of radio equipment, mathematical and algorithmic tools to provide computing operations for determining the location of aircraft in spatial configuration of mobile (portable) multipositioning radio ranging interrogation-reply navigation and landing system is considered in this article. The mathematical modeling of algorithms of aircraft traffic terminal control is carried out. The results of calculations of potential system performance and its analysis for compliance with international safety requirements are represented.

**Key words:**

#### Сведения об авторах

**Кондрашов Ярослав Викторович**, 1970 г.р., окончил МАИ (1993), кандидат технических наук, член-корреспондент Аэрокосмической Академии Украины, главный специалист Центра информационных технологий "Инфотех", г. Москва, автор более 100 научных работ, область научных интересов – радиолокация, радионавигация, управление воздушным движением, сигналообразующие технологии.

**Фиалкина Татьяна Станиславовна**, 1987 г.р., окончила НАУ (Киев) (2008), аспирантка НАУ, автор 15 научных работ, область научных интересов – навигация и управление воздушным движением, авиационные компьютерно-интегрированные комплексы.

**Рябец Александр Петрович**, 1989 г.р., окончил НАУ (Киев) (2011), аспирант НАУ, автор 9 научных работ, область научных интересов – навигация и управление воздушным движением, системы автоматического управления.