

УДК 621.396.933(045)

¹Я. В. Кондрашов, канд. техн. наук,
²Т. С. Фиалкина

ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОПОЗИЦИОННОЙ РАДИОДАЛЬНОМЕРНОЙ АЭРОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В РЕЖИМЕ ПРЕДПОСАДОЧНОГО МАНЕВРИРОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

¹Государственное научно-производственное предприятие «Авиарадиосервис»

²Национальный авиационный университет, e-mail: fialkina@ukr.net

Рассмотрены возможности привода воздушных судов в зону предпосадочного маневрирования при использовании мобильных многопозиционных радиодальномерных запросно-ответных систем навигации и посадки. Определены направления маневрирования и зоны (коридоры) воздушного пространства, где эффективность систем понижается. Показаны системные и аппаратные пути устранения (или сужения) таких зон.

Ключевые слова: местные воздушные линии, системы посадки, многопозиционность, маяки-ответчики, предпосадочное маневрирование, зоны (коридоры) неопределенности.

Введение и постановка задачи. Развитие авиации в части полетов воздушных судов (ВС) местных воздушных линий (МВЛ), летательных аппаратов (ЛА) авиации общего назначения (АОН), применения авиации в народном хозяйстве (ПАНХ) состоит в расширении географии, увеличении интенсивности, повышении безопасности и эффективности таких полетов.

Расширение географии полетов однозначно связано не только с навигационными задачами, но и с требованиями “посадки по приборам” ВС МВЛ на малооборудованные и не оборудованные регламентированными стационарными системами аэродромы и посадочные площадки. Повышение безопасности и эффективности эксплуатации ВС МВЛ и ЛА АОН (ПАНХ), наряду с остальными факторами, зависит от оснащенности трасс и аэродромов радиотехническим навигационным и посадочным наземным оборудованием (НО) при соответствующей его адаптации с бортовым оборудованием (БО) ВС.

Существующие в настоящее время и вводимые в эксплуатацию стандартные навигационно-посадочные международные системы (ILS – Instrumental Landing System, VOR – Very High Frequency V.H.F. Omnidirection Range, DME – Distance Measuring Equipment и др.) и их разновидности, а также системы посадки (СП) и радиотехнические системы ближней навигации (РСБН) внутригосударственного использования по своему прямому и единственному назначению являются стационарными, обслуживающими трассы и аэродромы с высокой плотностью полетов. Как правило, они работают с постоянным излучением электромагнитной энергии и направленными диаграммами антенных систем, требуют наличия аэродромной электросети, обладают большими массогабаритными характеристиками, энергоемкостью и стоимостями как БО, так и НО. По этим причинам они ни в коей мере не могут удовлетворять принципам оснащения трас МВЛ и ВС (ЛА).

Использование же спутниковой навигационной системы (СНС GPS, ГЛОНАС) в настоящее время определено международной организацией гражданской авиации ИКАО как элемент глобальной навигационной сети и ее информацию разрешено использовать как дополнительную к другим системам для повышения надежности навигационных данных. Кроме того, существует значительное количество территорий (где рейсы ВС и ЛА выполняются, но очень редко), не обеспеченных навигационным полем СНС. Отсюда вытекает целесообразность создания радиотехнической малогабаритной, дешевой, мобильной системы для ВС МВЛ и ЛА АОН (ПАНХ), совместимой с регламентированными

средствами навигации и посадки, как с точки зрения информационных полей, так и максимального использования БО, размещаемого на ВС МВЛ, ЛА АОН (ПАНХ).

Наряду с вышеизложенным в последние годы неуклонно повышается интерес к вопросам теории и практики многопозиционных измерительных систем различного назначения. Отличительной особенностью этих систем является использование в той или иной мере пространственно-временных методов обработки информации, заложенной в волновых полях и радиосигналах, принимаемых одновременно из пространственно-разнесенных точек.

Главной причиной актуальности многопозиционных радиосистем является широта и разнообразие их применения (в радиолокации, радионавигации, радиоуправлении, радиоастрономии, радиогодезии и др.) с реализацией высокоточных характеристик, которые не под силу однопозиционным системам, слабо использующим пространственную когерентность радиосигналов.

В статье [1] показаны потенциальные характеристики мобильной (переносной), малогабаритной, запросно-ответной навигационно-посадочной аэросистемы наземного базирования МПСП, использующей принципы многопозиционности (радиомаяки-ответчики, расположенные вблизи взлетно-посадочной полосы ВПП) и дальнометрии (стандартные форматы сигналов DME), при автоматическом вождении ВС на их посадочной глиссаде планирования.

В настоящей работе исследуется возможность использования МПСП в режимах предпосадочного маневрирования ВС и их захода на посадку при различных ракурсах относительно расположения ВС (ЛА) и маяков-ответчиков системы.

Конфигурация навигационно-посадочных полей для местных воздушных линий.

Тактика полетов ВС в зонах МВЛ позволяет определить условный типовой маршрут между точками взлета (A) и посадки (B), представленный на рис. 1.

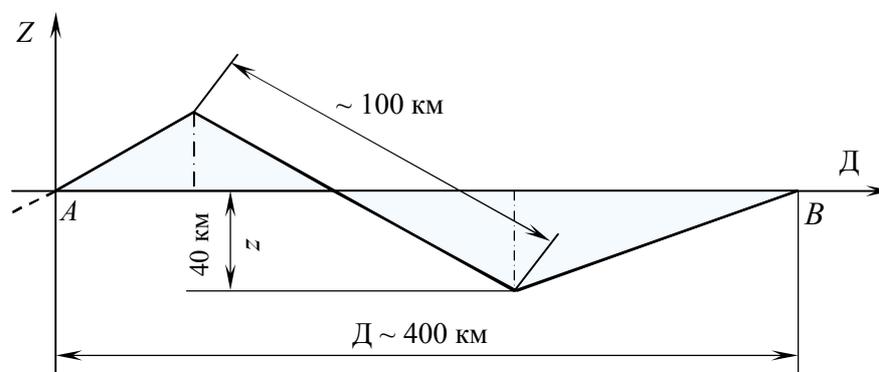


Рис. 1. Условный типовой маршрут между пунктами (точками) A и B :

D – дальность между точками A и B ;

z – боковое отклонение от прямой, соединяющей точки A и B

Данный условный маршрут состоит из нескольких участков прямолинейного полета и определенными боковыми отклонениями от прямой линии, соединяющей точки A и B . Согласно существующим нормам бокового эшелонирования ВС [2; 3], численные характеристики типового маршрута МВЛ, на основании которого могут быть предъявлены тактико-технические, энергетические, точностные и другие требования к радионавигационной системе, представлены в таблице.

Перспективные нормы бокового эшелонирования указывают, что ширина коридора должна составлять 20 км. По данным навигационного плана США [4] на внутренних авиалиниях ширина коридора на высотах более 6000 м составляет 29,6 км.

Численные характеристики типового маршрута МВЛ

Средняя дальность маршрута $D_{ср}$, км	Среднее количество участков прямолинейного полета	Средняя дальность прямолинейного полета $D_{ср}$, км	Среднее боковое отклонение от прямой линии, км	Минимальная высота полета на маршруте, м	Максимальная высота полета на маршруте, м
400	3 ... 4	100	40	600	12000

Исходя из тактики полетов ВС МВЛ и технических возможностей радиотехнических навигационных систем, можно заключить:

– зона действия системы навигации по дальности должна охватывать не весь маршрут (что на небольших высотах полета может превысить дальность радиовидимости), а участок прямолинейного полета;

– на участке прямолинейного полета, т. е. в зоне действия радионавигационной системы может одновременно находиться ограниченное количество – не более трех ВС МВЛ.

Следовательно, зона действия радиотехнической системы навигации ВС МВЛ должна обеспечивать участки пространства, изображенные на рис. 2, а, б.

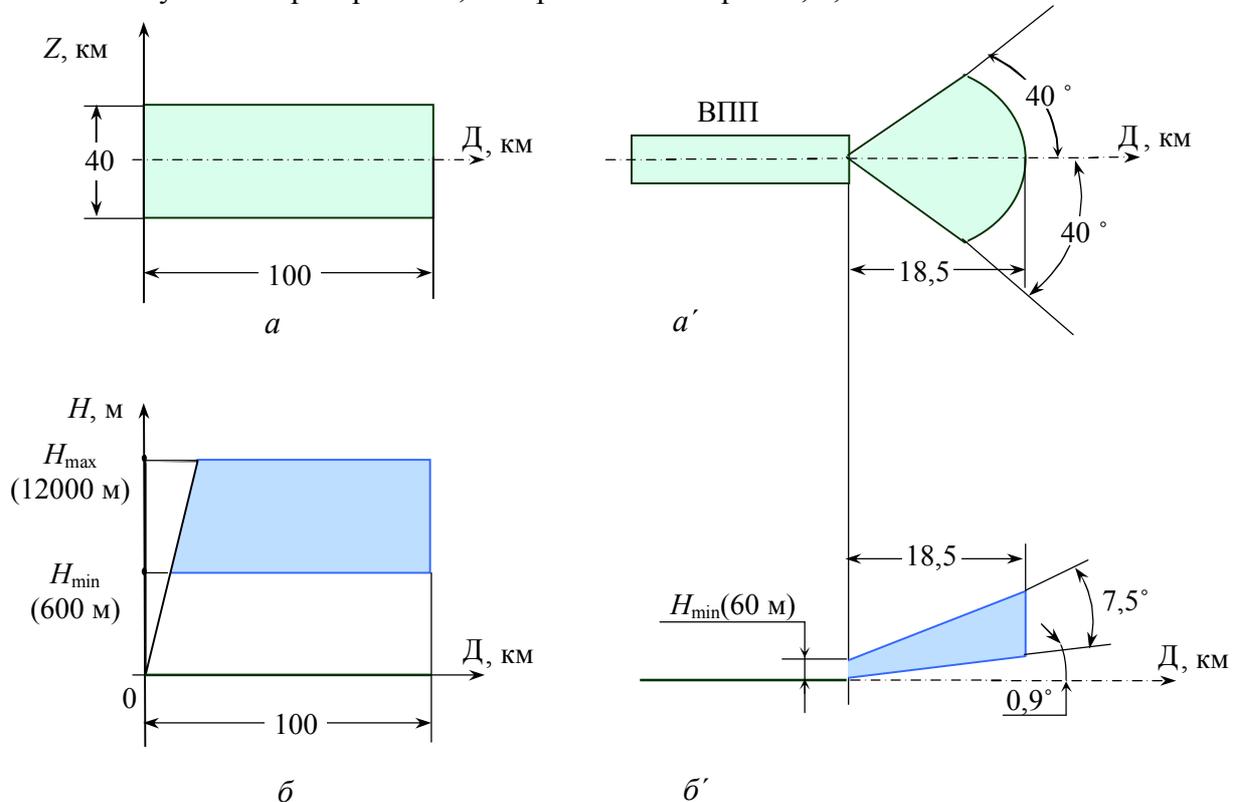


Рис. 2. Зоны действия систем навигации (а, б) и посадки (а', б') МВЛ:
а, а' – в горизонтальной плоскости; б, б' – в вертикальной плоскости;

ВПП – взлетно-посадочная полоса

Тактика посадки ВС МВЛ на аэродромы, необорудованные стандартными стационарными системами посадки, позволяет заключить следующее:

– заход на посадку и саму посадку осуществляют одиночные ВС с одного конца ВПП;
– заход на посадку и посадка ВС производится в директорном режиме;
– зона действия системы посадки должна строиться с учетом регламентированных зон действующих стандартных систем [5; 6];

– в обеспечение безопасности пассажирских перевозок система посадки должна обеспечивать требования как минимум I категории ICAO [2].

Исходя из вышеизложенного, параметры зоны посадки ВС МВЛ следует принимать со следующими значениями:

- по дальности – не менее 18,5 км, отсчитываемых от торца ВПП;
- по азимутальному углу ± 40 , отсчитываемых от торца ВПП;
- по углу места – 0,9 ... 7,5 от плоскости горизонта, высоты 60 ... 6000 м.

Анализ энергетических характеристик бортовых дальномеров DME/P [7], работающих в составе МПСП [1] в запросно-ответном режиме с наземными малогабаритными радиомаяками-ответчиками, показывает возможность создания непрерывного навигационного (или посадочного) поля в необходимых для МВЛ конфигурациях (рис. 2).

Оценка возможности создания непрерывного радионавигационного поля в зоне предпосадочного маневрирования ВС. Для МПСП, работающих в запросно-ответном канале, в отличие от режимов навигации и посадки, реализуемых традиционными видами оборудования, например, системы ILS, где ВС стабильно сориентировано относительно наземных стационарных радиомаяков, режим захода на посадку обуславливает гораздо более динамичное изменение ориентации ВС относительно базы этих маяков-ответчиков.

В этой связи, в пространстве маневрирования энергетические характеристики навигационного поля, создаваемые такими системами, должны иметь зависимость от взаимного расположения ВС и маяков, находящихся вблизи ВПП.

При этом для систем, построенных по принципу дальнометрии, могут быть рассмотрены два варианта их использования для привода ВС в зону предпосадочного маневрирования:

- а) привод по вектору максимальной скорости [8];
- б) привод по гиперболе [1].

В варианте (а) предусматривается постоянная оценка скорости изменения (уменьшения) дальности между ВС и приемоответчиком (ретранслятором) наземного оборудования (НО). Алгоритм управления при этом может напоминать алгоритм работы системы экстремального регулирования: поиск максимума и последующее слежение за ним. В этом варианте принципиально необходимо производить периодические изменения курса ВС с тем, чтоб иметь возможность вычислять приращения скорости изменения дальности. Величина необходимого «рыскания» ВС определяется минимальной дискретностью измерения приращения скорости и, в свою очередь, определяет необходимую ширину коридора полета. Разработанные алгоритмы управления ВС по данным одной дальности [8] позволяют определить характеристики метода.

В варианте (б) привода используется принцип полета по гиперболе [1], т. е. по траектории, при которой разность удалений ВС от двух точек наземного оборудования (приемоответчик-ретранслятор или ретранслятор-ретранслятор) поддерживается постоянной. Подход к оценке точностных характеристик привода по варианту (б) иллюстрируется рис. 3, 4. На рис. 3: п/о – приемоответчик, р/т₁ – первый ретранслятор (для примера), ВС – самолет.

Оценим минимально необходимое изменение положения ВС относительно приемоответчика и ретранслятора НО, позволяющее при имеющейся погрешности измерения дальностей, например, с помощью бортовых дальномеров, работающих со стандартными форматами сигналов DME, определить знак изменения разности дальностей D_0 и D_1 . Для удобства расчетов предполагаем, что положение ВС меняется по дуге радиусом $R = D$.

Из формул для расчета косоугольных треугольников (на сравнительно больших удалениях ВС от НО высотой можно пренебречь) известно:

$$D_1^2 = D_0^2 + d_{01}^2 - 2D_0d_{01} \sin \alpha ; \quad (1)$$

$$D_1'^2 = D_0^2 + d_{01}^2 - 2D_0d_{01} \sin (\alpha - \delta_\alpha).$$

Решая систему уравнений (1) относительно $\Delta D = D'_1 - D_1$, имеем:

$$\Delta D = \frac{2D_0 d_{01} \{ \sin \alpha - \sin(\alpha - \delta_\alpha) \}}{D_1 + D'_1}.$$

При $D_0 \approx D_1 \approx D'_1 \geq d_{01}$ можно принять: $D_1 + D'_1 \approx 2D_0$ и окончательно для ΔD :

$$\Delta D = d_{01} \{ \sin \alpha - \sin(\alpha - \delta_\alpha) \}. \quad (2)$$

На рис. 4. графически представлены зоны неопределенности, внутри которых величины ΔD , определенные с помощью полученного выражения (2), менее погрешности ΔD_{DME} измерения расстояния, например, дальномером DME/P [5].

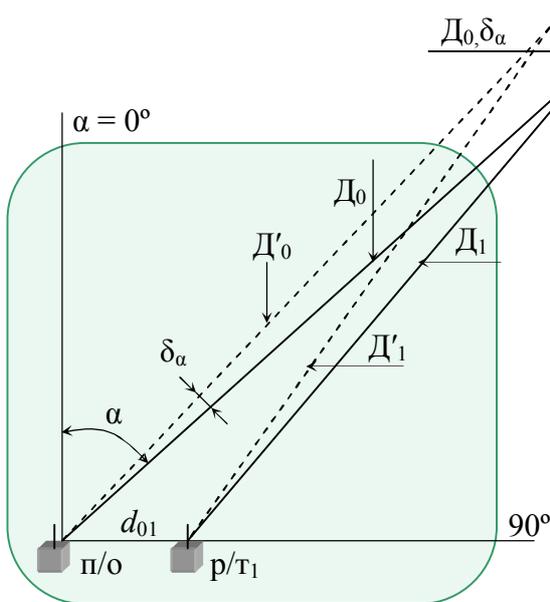


Рис. 3. Взаимное расположение маневрирующего ВС и наземных радиомаяков-ответчиков: приемопередчика (п/о) и ретранслятора (р/т)

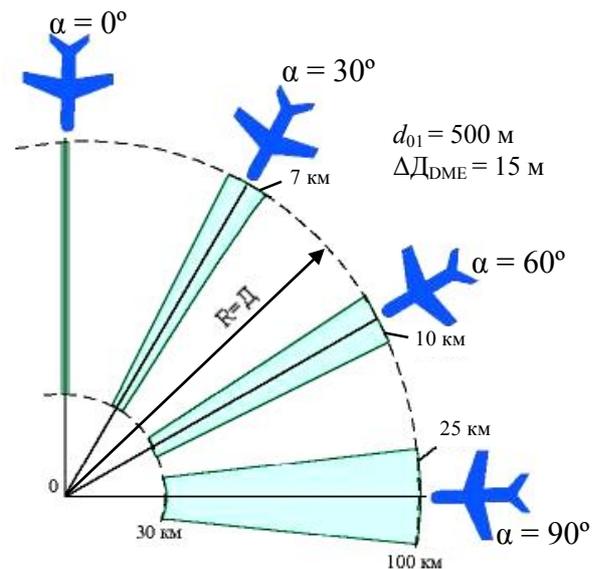


Рис. 4. Неблагоприятные направления и зоны (коридоры) маневрирования и привода ВС по гиперболе

Учитывая типовые конфигурации предпосадочного маневрирования [9], ширина зон (коридоров) рассчитывалась, для примера, при $d_{01} = 500$ м и $\Delta D_{DME} = 15$ м на удалении 100 км для трех значений угла $\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$, и составила, соответственно 7, 10, 25 км (рис. 4).

Из рис. 4. видно значительное ухудшение точностных характеристик привода при полете ВС вдоль оси п/о – р/т. Точность в этом случае может быть повышена при использовании для управления полетом дальностей до двух других точек НО, ось которых расположена под меньшими углами по отношению к ВС, либо имеющих большее d_{01} между п/о и р/т₁ (рис. 3).

Уменьшения ширины коридора можно достигать и аппаратурными методами. Поскольку систематическая ошибка измерения двух дальностей при вычислении их разности практически взаимно компенсируется, допустимый минимум ΔD оценивается по величине фильтрованного значения случайной составляющей погрешности.

Высокочастотная (шумовая) составляющая погрешности может быть определена после окончательного выбора полосы ее фильтрации (коэффициентов α и β), а также с учетом фильтрующих свойств индикатора и планок прибора ПНП-72, используемого в настоящее время на ВС МВЛ. Так, при коэффициентах α и β , выбранных в дальномере DME/P [7] для «стандарта 2» точности, усреднение случайной погрешности единичного измерения производится в 5 раз. Этот «стандарт» предназначен для вертолетов, самолетов с

вертикальним взлетом и посадкой, т. е. ЛА с малой скоростью изменения D_0 (D_1) и поэтому будет хорошо пригоден для самолетов МВЛ.

Выводы. Исходя из вышеизложенного, двухпозиционная (многопозиционная минимальной комплектации [10]) радиотехническая дальномерная система навигации и посадки позволяет при различных (в т. ч. типовых [9]) конфигурациях предпосадочного маневрирования осуществлять привод ВС в зону ВПП на основании дальномерных измерений.

Список литературы

1. Кондрашов Я. В. Многопозиционная радиодальномерная система для автоматической посадки летательных аппаратов / Я. В. Кондрашов, Т. С. Фиалкина // Наука і молодь зб. наук. пр. – К.: Національний авіаційний університет. – 2007. Вип. №7. – С. 106 – 109.
2. Руководство по требуемым навигационным характеристикам (RNP, Required Navigation Performance) // ИКАО. – 2-е изд. – 1999.
3. Логвин А. И. Вопросы оптимизации элементов структуры воздушного пространства / А. И. Логвин., А. А. Бабич Науч. Вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. Серия «Радиофизика и радиотехника». – 2008. – №126. – С. 4 – 9.
4. Зурабов Ю. Т. План развития радионавигационных систем в США / Ю. Т. Зурабов, И. Н. Мищенко, В. Г. Мельников. ЗРЭ. – 1983. – №9. – С. 3 – 17.
5. Поправка 63 ИКАО. Приложение 10. Т.1. Авиационная электросвязь. – М., 1982, 105 с.
6. Белгородский С. А. Автоматизация управления посадкой самолетов / С. А. Белгородский – М.: Транспорт – 1972, 180 с.
7. Руководство по технической эксплуатации дальномера DME/P (1.247.275 РЭ) // Казенное предприятие «Радиоизмеритель». – К., 262 с.
8. Кондрашов Я. В. Радионавигационная система управления полетом планирующих летательных аппаратов. / Я. В. Кондрашов, В. В. Цветнов / Радиоэлектронные системы для мониторинга окружающей среды: сб. – М.: Моск. гос. техн. ун-т гражданской авиации, – 1994, С. 99 – 122.
9. Черный М. А. Воздушная навигация / М. А. Черный, В. И. Кораблин, – М.: Транспорт, 1983. – 274 с.
10. Кондрашов Я. В. Мобильные многопозиционные дальномерные и разностно-дальномерные радиосистемы посадки летательных аппаратов / Я. В. Кондрашов, Т. С. Фиалкина // Електроніка та системи управління. – К.: НАУ, 2008. – №2(16). – С. 77 – 84.

Я. В. Кондрашов, Т. С. Фиалкина

Характеристики багатопозиційної радіодальномерної аеронавігаційної системи в режимі передпосадкового маневрування повітряних кораблів

Розглянуто можливості приведення повітряних кораблів у зону передпосадкового маневрування з використанням мобільних багатопозиційних радіодальномерних запитально-відповідальних систем навігації й посадки. Визначено напрямки маневрування й зони (коридори) повітряного простору, де ефективність систем знижується. Показано системні й апаратні шляхи усунення (або звуження) таких зон.

J. V. Kondrashov, T. S. Fialkina

Characteristics of the manypositional radio long way measuring aeronavigation system in the mode of the before-landing manoeuvring of aircrafts

Possibilities of drive of aircrafts in the area of the before-landing manoeuvring at the use of the mobile manypositional radio long way measuring asking-replying systems of navigation and landing are considered. Directions of manoeuvring and area (corridors) of air space, where effectiveness of the systems falls down, are definite. The system and apparatus ways of removal (or narrowing) of such areas are shown.