

УДК 629.735.054.07.058.43 (045)

<sup>1</sup>Кондрашов Я.В., канд. техн. наук<sup>2</sup>Фиалкина Т.С.

## ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОБИЛЬНОЙ МНОГОПОЗИЦИОННОЙ РАДИОДАЛЬНОМЕРНОЙ СИСТЕМЫ ПОСАДКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

<sup>1</sup>Государственное научно-производственное предприятие «Авиа-радиосервис»<sup>2</sup>Национальный авиационный университет

*Проведено обоснование необходимости введения в эксплуатацию малогабаритной мобильной (переносной) многопозиционной радиодальномерной системы посадки летательных аппаратов на аэродромах и посадочных площадках местных воздушных линий (МВЛ), авиации общего назначения (АОН), применения авиации в народном хозяйстве (ПАНХ).*

### **Введение**

Тенденции развития радиотехнических систем навигации и посадки летательных аппаратов (ЛА) [1] заключаются в повышении точности, надежности и быстродействия работы отдельных ее элементов при одновременном снижении массогабаритных характеристик и потребления электроэнергии.

Для аэродромов местных воздушных линий – МВЛ и посадочных площадок авиации общего назначения – АОН, применения авиации в народном хозяйстве – ПАНХ целесообразным является использование малогабаритной мобильной (переносной) многопозиционной радиодальномерной навигационно-посадочной системы посадки летательных аппаратов (далее МПСП) [2].

Бортовое оборудование такой системы состоит из двух частей – штатного блока DME/P из состава международной радиосистемы – Distance Measuring Equipment [3] и вновь вводимой части. Последняя включает в себя: вычислительное устройство, пульт управления, индикатор самолетной дальности, индикатор самолетной азимута, устройство сопряжения.

Наземное оборудование системы МПСП состоит из одного маяка - ответчика с сохранением формата сигналов DME, или использование в сетке частот DME квазисложных сигналов [4], и двух (трех) радиомаяков-ответчиков, рабо-

тающих как ретрансляторы.

Указанный состав оборудования системы МПСП позволяет экипажу на этапе предпосадочного маневрирования, для определения местоположения воздушного судна (ВС) в горизонтальной плоскости и ориентирования относительно взлетно-посадочной полосы (ВПП), иметь двухкоординатную информацию в виде бокового и продольного отклонений, и курсового угла. Высота полета выдерживается по радио или баро-высотомеру.

На предпосадочной прямой экипаж ВС имеет трехкоординатную информацию в виде наклонной дальности до торца ВПП и отклонений от опорных траекторий по курсу и глиссаде.

Описание принципов функционирования системы изложено в работе [5].

### **Оснащенность аэропортов МВЛ гражданской авиации техническими средствами посадки**

Основными типами средств посадки на аэродромах МВЛ являются: обзорный диспетчерский радиолокатор – ОДРЛ, радиолокационная система посадки – РСП, (посадочные радиолокаторы – ОПРЛ, ПРЛ), отдельная приводная радиостанция – ОПРС, радиомаячная система посадки – РМС (система посадки – СП), светотехническое оборудование посадки – СТО (огни высокой интенсивности – ОВН), радиотехническая система ближней нави-

## Украинское УГА

Всего аэропортов – 89. Количество аэропортов, принимающих самолеты 3 класса – 15.

Таблица 1

№ п/п	Наименование средства	Тип средства (количество каждого из них)	Общее количество комплектов
1.	Обзорный диспетчерский радиолокатор (ОДРЛ).	ДРЛ-7С(7), ДРЛ-7СМ(3)	10
2.	Радиолокационная система посадки (РСП).	РП-3Г(5), ОПРЛ-4(6), РП-4Г(1)	12
3.	Система посадки ОСП.	ОСП-МВЛ(1), АПР(19)	20
4.	Отдельная приводная радиостанция (ОПРС).	АПР-8(1), АПР-7(6), ПАР-8(20)	34
5.	Радиомаячная система посадки (РМС).	СП-68(7), СП-75(4)	11
6.	Светотехническое оборудование посадки (СТО).	М-2(7)	7
7.	Радиотехническая система ближней навигации (РСБН).	РСБН-6(3)	3

гации – РСБН, оборудование слепой посадки – ОСП.

Основными типами самолетов, эксплуатируемых в настоящее время в районах местных воздушных линий, являются самолеты 3 класса: Як-40, Ан-24, Ан-26, Ан-30, Ил-14 и самолеты 4 класса: Л-410, Ан-28, Ан-2.

Каждый аэропорт МВЛ в зависимости от класса аэродрома, типов обслуживаемых воздушных судов, режима работы аэропорта и интенсивности воздушного движения (количества взлетов-посадок) должен оснащаться соответствующим комплексом технических средств навигации, посадки и управления воздушным движением – УВД.

На конечном этапе своего полета каждый экипаж ВС обеспечивает решение следующих задач:

- а) привод в район аэродрома и выход на конечный пункт маршрута (КПМ);
- б) построение предпосадочного маневра и выполнение полета на начальном этапе захода на посадку;
- в) заход на посадку и выполнение полета на промежуточном и конечных этапах захода на посадку;
- г) выполнение посадки ВС.

Выход на КПМ, предпосадочный маневр и заход на посадку экипаж ВС МВЛ, АОН или ПАНХ осуществляет визуально или по приборам, используя в комплексе технические средства самолетовождения и визуальную ориентировку.

Анализ фактического состояния оснащенности аэродромного воздушного пространства (АВП) в районах местных воздушных линий и авиационных работ техническими средствами посадки по Ук-

раинскому управлению гражданской авиации представлен в таблице 1.

Следует отметить, что значительная часть представленных в табл. 1 средств в настоящее время исчерпало (или исчерпывает) свой эксплуатационный регламент.

Статистический анализ регулярности выполнения рейсов на авиамаршрутах МВЛ показывает, что нарушения регулярности полетов по причине метеоусловий хуже минимума для посадки составляют около 85% всех нарушений регулярности выполнения рейсов.

Высокий процент нарушений регулярности полетов по причине метеоусловий хуже минимума для посадки обусловлен:

- значительной повторяемостью сложных метеоусловий – СМУ;
- высокими минимумами для посадки;
- слабой оснащенностью аэродромов МВЛ средствами посадки.

Из анализа оснащенности 1048 аэродромов МВЛ следует, что:

4% аэродромов МВЛ классов Б и В оснащено радиомаячными системами (РМС);

6% аэродромов МВЛ классов Б и В оснащено посадочными радиолокаторами (ПРЛ);

20% аэродромов МВЛ классов Б, В, Г оснащено посадочными средствами типа ОСП;

38% аэродромов МВЛ оснащено отдельными приводными радиостанциями (ОПРС).

Практически не оборудованы радиотехническими средствами посадки аэ-

родромы МВЛ классов Д и Е, а также неклассифицированные аэродромы, которые составляют порядка 80% от общего числа аэродромов МВЛ.

Учитывая вышеизложенное, а также объем перевозок на МВЛ и значительные величины среднегодовой повторяемости СМУ, кардинальным решением проблемы повышения регулярности полетов ВС является снижение минимумов для посадки, что может быть достигнуто только за счет оснащения малооборудованных аэродромов соответствующими радиотехническими средствами.

Большое разнообразие местных условий в аэропортах и посадочных площадках МВЛ, АОН и ПАНХ (по климатическим, географическим условиям, по классам аэродромов, режиму их работы, большой разброс по интенсивности воздушного движения - ВД и т.д.) требует большой гибкости в выборе радиотехнических средств посадки. При этом необходимо проанализировать весь комплекс проблем: от значимости данного аэропорта в народнохозяйственной системе того или иного региона до тщательного анализа аэродромной ситуации в каждом конкретном аэропорту МВЛ. Требуется найти оптимум между капитальными затратами на оборудование тех или иных радиотехнических систем посадки и экономическим эффектом от внедрения этих систем.

Тем более важно рассмотреть возможность создания радиотехнической системы, которая одним составом наземного и бортового оборудования могла бы решить задачи обеспечения координатной информацией ВС в аэродромном пространстве МВЛ, АОН, ПАНХ.

#### **Снижение минимумов посадки при использовании МПСР**

Для повышения ответственности летного и диспетчерского состава за точностью выполнения маневра захода на посадку установлены предельно допустимые отклонения ВС от курса и глиссады при заходе на посадку [6]. В случае использования режимов захода на посадку по РМС, РСР и РСР + ОСР для самолетов 3 класса предельно допустимые от-

клонения по курсу ( $\Delta L_{пред}$ ) при удалениях от ВПП на 9,4 и 1 км соответственно составляют  $\pm(289,128$  и  $32)$  м. При этом предельно допустимые отклонения от глиссады в вертикальной плоскости ( $\Delta H_{пред}$ ) на указанных удалениях от ВПП не должны превышать  $\pm(72,32$  и  $16)$  м.

Режимы РМС, РСР и РСР + ОСР обеспечивают [7] для самолетов 3 класса типа Ан-24, Як-40 посадочные минимумы аэродрома «60x800» и «80x1000». Режимы РСР и РСР + ОСР могут обеспечивать также для самолетов 4 класса типа Ан-2, Ан-28, Л-410 аэродромные посадочные минимумы «60x800» и «80x1000». Определение пригодности РМС и РСР к эксплуатации осуществляется в соответствии с «Правилами сертификации оборудования аэропортов, гражданских аэродромов и воздушных трасс».

Эксплуатационные характеристики РМС обеспечивают возможность управления ВС по приборам до высоты принятия решения 60 м при визуальной видимости не менее 800 м. Точностные характеристики РМС типа ILS (Instrumental Landing System) составляют:

а) точность поддержания средней линии курса относительно оси ВПП у опорной точки в пределах  $\pm 10,5$  м;

б) точность установки и поддержания угла глиссады  $0 \div 0,075^\circ$ ;

МПСР обеспечивает на этапе захода на посадку следующие точностные характеристики [8]; в зависимости от структуры ответных сигналов маяков и выбора режима работы (IA или FA) дальномера DME/P [3]:

а) Погрешность следования по курсу на высоте принятия решения (60 м)  $\pm(3, 10)$  м;

б) Погрешность определения дальности  $\pm 30$  м,  $\pm(3, 10)$  м;

в) Погрешность по углу места на высоте принятия решения (60 м)  $\pm(3,6 \div 10)$  м.

Точностные характеристики МПСР на этапе предпосадочного маневра:

а) Погрешность определения дальности  $\pm 15$  м;

б) Погрешность следования по курсу или линейное боковое отклонение  $\pm 4,5$  м.

В работах [1, 2] показано, что требования по точности могут быть выполнены

ная успешно только для выдерживания курсового угла и отклонения в горизонтальной плоскости. Требования в отношении угла места и допустимого отклонения от глиссады в вертикальной плоскости могут быть реализованы с применением информации о высоте от пилотажно-навигационного оборудования самолета или вертолета – радио (или баро) высотомера.

Покажем, что точностные характеристики МПСП будут достаточны для успешного выполнения захода на посадку самолета 3 или 4 класса в условиях посадочных минимумов по I категории Международной организации гражданской авиации ICAO (International civil aviation organization) [9].

В реальных условиях эксплуатации ВС МВЛ возможны следующие схемы снижения и захода на посадку:

- а) заход на посадку с прямой;
- б) заход на посадку по малому прямоугольному маршруту;
- в) заход на посадку с отвором на расчетный угол;
- г) заход на посадку стандартным разворотом;
- д) заход на посадку с обратного направления.

Режимы полета [10] по схеме захода на посадку устанавливаются для соответствующего типа ВС. Для самолета Ан-24 значения истинной воздушной скорости имеют следующие значения:

- от дальнего приводного радиомаяка ДПРМ до окончания 2-го разворота – 300 км/ч;
- от траверза ДПРМ до 3-го разворота – 290 км/ч, от 3-го до 4-го разворота – 260 км/ч;
- 4-го разворота – 250 км/ч, от конца 4-го разворота до точки входа в глиссаду (ТВГ) – 250 км/ч;
- после входа в глиссаду на планировании с закрылками, отклоненными на  $38^\circ$  – 210-200 км/ч.

При углах крена  $15^\circ$  для самолета Ан-24 элементы разворота ( $R_{1, 2, 3, 4}$  – радиус разворота,  $t_{90^\circ}$  – время на выполнение разворота на  $90^\circ$ ) имеют следующие

значения:  $R_1 = R_2 = 2640$  м,  $t_{90^\circ} = 50$  с;  $R_3 = 2300$  м,  $t_{90^\circ} = 47$  с;  $R_4 = 1830$  м,  $t_{90^\circ} = 42$  с.

Во всех случаях независимо от принятой схемы захода на посадку точность самолетовождения в горизонтальной плоскости должна быть такова, чтобы к моменту выхода из разворота линейное боковое уклонение не должно превышать предельные значения  $\Delta L_{\text{пред}}$  с учетом различных возмущающих факторов, влияющих на точность самолетовождения.

Во всех случаях, кроме случая захода на посадку с прямой, ВС при выходе на посадочную прямую совершает криволинейный полет с заданным значением угла крена  $\gamma$ . Можно предположить, что внедрение в эксплуатацию новых посадочных систем типа МПСП позволит отказаться от ортодоксальной схемы захода на посадку по «коробочке» [6] и будет обеспечивать полеты ВС в аэродромном воздушном пространстве по более короткой криволинейной траектории (см.рис.1).

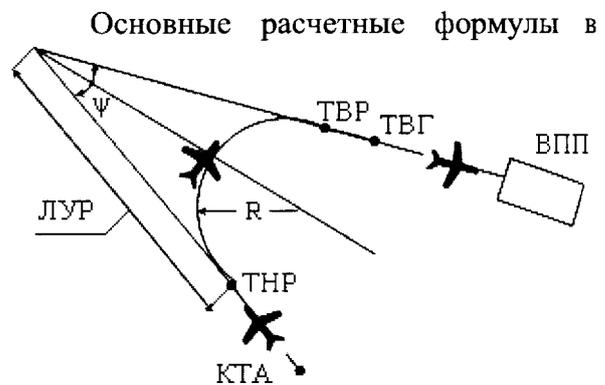


Рис. 1. Схема захода на посадку ЛА по криволинейной траектории в МПСП этом случае имеют вид:

$$R = \frac{V^2}{g \operatorname{tg} \gamma}, \quad \text{ЛУР} = R \operatorname{tg} \frac{\psi}{2},$$

При наличии ветра будем иметь:

$$UB_{\text{noc}} = \delta - MK_{\text{noc}}, \quad U_s = U \sin(90 - UB_{\text{noc}}),$$

$$t_{\text{упр}} = \frac{U_s (t_{\text{np}} + t_{\text{разв}}) \cos \psi}{W}, \quad \text{где}$$

$V$  – истинная воздушная скорость ВС,  $g \operatorname{tg} \gamma$  – лётные характеристики ЛА [10];  $MK_{\text{noc}}$  – магнитный курс посадки; ЛУР – линейное упреждение разворота;

### Величина бокового линейного отклонения ВС по курсу при заходе на посадку по системе МПСП и при его выходе из разворота

Таблица 2

Тип ВС	Скорость ВС (м/с)	Угол крена (град.)	Точность РТС (м)	Боковое линейное отклонение по курсу (м)
Ан-24	70	15	30	266(2σ)
Ан-2	40	15	30	114(2σ)

$\psi$  – угол разворота, ТНР – точка начала разворота ВС, ТВР – точка выхода ВС из разворота;

$UB_{\text{пос}}$  – угол ветра по отношению к магнитному курсу посадки;

$\delta$  – направление ветра,  $U$  – скорость ветра,  $U_{\text{в}}$  – встречная составляющая скорости ветра;

$W$  – путевая скорость ВС до момента входа в разворот;

$t_{\text{разв}}$  – время выполнения разворота при штиле,  $t_{\text{упр}}$  – время упреждения для начала разворота,

$t_{\text{пр}}$  – время полета ВС от контрольной точки аэродрома (КТА) до начала разворота при штиле.

Таким образом величина квадрата бокового отклонения при выходе из разворота будет равна:

$$\Delta R^2 = \left( \frac{\partial R}{\partial V} \right)^2 \Delta V^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial \gamma} \right)^2 \Delta \gamma^2, \quad \text{или}$$

$$\Delta R^2 = \frac{4V^2}{g^2 \text{tg}^2 \gamma} \Delta V^2 + \frac{V^4}{g^2 \sin^4 \gamma} \left( \frac{\Delta V}{57,3} \right)^2.$$

С учетом погрешности радиотехнической системы посадки величина бокового отклонения ВС составит:

$$\Delta L_{\text{бок}} = \sqrt{\Delta R^2 + \Delta L_{\text{РТС}}^2}, \quad \text{где } \Delta L_{\text{РТС}} - \text{точность радиотехнической системы посадки МПСП. Для дальнейших расчетов принимаем } \Delta L_{\text{РТС}} = 30 \text{ м} - \text{режим IA (навигация) дальномера DME/P [3].}$$

Последняя формула может быть использована для расчета величины, бокового линейного отклонения по курсу при выходе из разворота для самолета 3 класса (Ан-24) и для самолета 4 класса (Ан-2).

Результаты расчета представленные в таблице 2 удовлетворяют требованиям по предельно допустимым отклонениям ВС по курсу [6].

Расчеты по определению точностных характеристик системы МПСП [1, 10]

показали, что минимум посадки «60×800» для самолета 4 класса Ан-28 будет обеспечен при следующих условиях: значение среднеквадратической ошибки измерения дальности системой не более 30 м, оптимальных по критерию точности значений баз радиомаяков, применения в бортовом оборудовании системы, при обработке сигналов радиомаяков, алгоритмов сглаживания информации по траектории полета.

Для вертикальной плоскости кроме

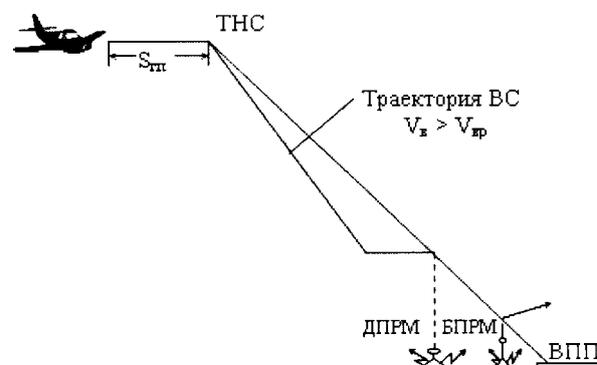


Рис. 2. Заход на посадку по системе ОСП

перечисленных условий требуется комплексирование информации радио (баро) высотомера.

Ощутимым преимуществом системы посадки МПСП является то обстоятельство, что эта система в любой момент при заходе на посадку позволяет располагать информацией о текущем значении дальности до ВПП. Это преимущество особенно существенно при сравнении системы МПСП с системой ОСП.

Как известно, заход на посадку по системе ОСП осуществляется по методике, предусматривающей маневрирование продольным движением на предпосадочной прямой таким образом, чтобы выполнить пролет дальнего приводного радиомаяка ДПРМ на установленной высоте (рис. 2). Для этого сразу после вы-

хода из 4-го разворота довыпускают закрылки и затем в горизонтальном установленном режиме ( $S_{\text{гп}}$ ) продолжительностью 30-40 с запоминают режим работы двигателей. В точке начала снижения – ТНС командир ВС переводит ВС в снижение с вертикальной скоростью  $V_v$ , превышающей расчетную  $V_{\text{вр}}$  на установленное значение  $\Delta V_v$ . Для самолета Ан-24,  $\Delta V_v = 1$  м/с.

При достижении высоты на 20-30 м больше установленной для пролета ДПРМ ВС переводят в горизонтальный полет и после пролета ДПРМ продолжают снижение с расчетной вертикальной скоростью по расчетной глиссаде до ближнего приводного радиомаяка (БПРМ) и высоты принятия решения.

В отличие от рассмотренной схемы (рис. 2) в случае захода на посадку по системе МПСП, при наличии информации на борту ВС о текущем значении дальности до ВПП, существенно облегчается выполнение предпосадочного маневра, т.к. система позволяет осуществить снижение по глиссаде с расчетной скоростью на всем участке предпосадочной прямой. Это и является *основным фактором*, повышающим уровень *безопасности полетов* ВС и необходимым условием их *посадки в автоматическом режиме* на аэродромах, оборудованных системами МПСП.

### **Заход на посадку ВС МВЛ, АОН и ПАНХ на аэродромах, оборудованных МПСП и ОПРС**

Возможен вариант использования системы МПСП, когда на аэродроме будет устанавливаться основной радиомаяк DME/P без маяков ретрансляторов, но при этом на борту воздушного судна будет использоваться информация о курсовом угле приводной радиостанции (ОПРС) данного аэродрома. Такой вариант может оказаться предпочтительнее в переходной период, когда на ряду с оснащением аэропортов МВЛ перспективными посадочными системами будет продолжено использование ОПРС.

Заход на посадку в этом случае может осуществляться в соответствии со

схемой, представленной на рис. 3.

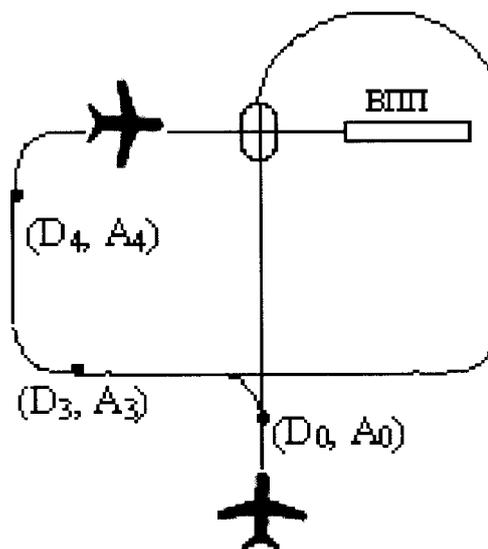


Рис. 3. Заход на посадку ВС с использованием оборудования DME/P и ОПРС

Вписывание в схему захода на посадку может быть начато как в точке с полярными координатами  $(D_0, A_0)$ , так и начиная с пролета приводного маяка (ОПРС).

В первом случае командир ВС первоначально должен обеспечить устойчивый полет ВС на курсе ( $KУР = A_0$ ) и в момент достижения дальности  $D_0$  начинать левый разворот вписывания в «коробочку».

Моменты начала 3 и 4-го разворотов в штилевых условиях должны определяться значениями полярных координат  $(D_3, A_3)$  и  $(D_4, A_4)$ , указанными на схеме, рис. 3. В реальных условиях выполнения полета в штилевые значения азимутов должны быть внесены поправки на ветер:

$$A'_3 = A_3 + \Delta A_3; \quad A'_4 = A_4 \pm \Delta A_4.$$

Приближенные значения поправок составляют:  $\Delta A_3 = 0,4Ив$ ;  $\Delta A_4 = 0,3Иб$ , где  $Ив$  и  $Иб$  – соответственно встречная и боковая составляющие скорости ветра.

### **Заключение**

Обобщая все вышесказанное, а также учитывая положительные результаты летных испытаний системы типа МПСП [11], можно утверждать, что установка малогабаритных мобильных (переносных) многопозиционных радиодальномерных посадочных систем на аэродромах МВЛ,

взамен существующих радиотехнических систем ОСП и ОПРС, позволяет значительно понизить минимумы посадки указанных аэродромов для ВС МВЛ, АОН и ПАНХ до значений «60×800» и «80×1000» [7].

### Список литературы

1. Кондрашов В.И., Никонов В.А., Чижский Б.В. Исследование тактико-технических характеристик радиотехнической навигационно-посадочной системы для местных воздушных линий. // Труды Гос НИИ гражданской авиации, вып. 272, М., 1988, вып. 272. – С. 102-108.

2. Кондрашов Я.В. Пути использования информации высотомерно-угломерно-дальномерных бортовых датчиков и вычислительных средств в системе с радиомаяками-ответчиками для целей посадки, ближней и межсамолетной навигации. // Тезисы докладов III Международной научно-технической конференции «Методы управления системной эффективностью функционирования электрофицированных и пилотажно-навигационных комплексов, Авионика 95», Киевский международный университет гражданской авиации, Киев, 17-19.05 1995. – С. 106-108.

3. Руководство по технической эксплуатации дальномера DME/P (1.247.275 РЭ). // Казенное предприятие «Радиоизмеритель», Киев.

4. Кондрашов Я.В. Адаптация конфигураций однополосных спектров бинарных квазисложных сигналов к ситуативным обстоятельствам применения многопозиционных радионавигационных систем. // Научный Вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации, серия Радиофизика и радиотехника, № 96, 2005. – С. 51-57.

5. Кондрашов В. И., Кондрашов Я. В. Принципы и структуры мобильных, локальных, многопозиционных навигационно-посадочных авиационных радиосистем наземного базирования. // Научный Вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации, серия Радиофизика и радиотехника, №76 (3), 2004. – С. 84-92.

6. Черный М. А., Кораблин В. И. Воздушная навигация. Транспорт, М., 1983.

7. Методика определения минимумов для взлета и посадки воздушных судов гражданской авиации. МГА, М., 1986.

8. Кондрашов Я. В., Фиалкина Т. С. Анализ погрешности определения местоположения летательного аппарата в мобильной многопозиционной радиодальномерной навигационно-посадочной системе // Матеріали VII-ої Міжнародної наукової конференції «Політ», Національний авіаційний університет, Київ, 12-13 квітня 2007. – С. 123-124.

9. Доклад Группы экспертов по всепогодным полетам (AWOR), 16-е совещание, Монреаль, 1997.

10. Ефимов Н. И., Хачемизов Б. А., Хрюков А. В. Самолетовождение, часть III, под редакцией Буланова В. П., Изд. МО СССР, М., 1985. – 235 с.

11. Акт №1124-89-1X о проведении летных испытаний макетного образца трехпозиционной радиодальномерной системы посадки воздушных судов. Летно-исследовательский институт, г. Жуковский, 1989 г.