

ИНФОРМАЦИОННО-СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИОРИТЕТНОСТИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ НАВИГАЦИОННО- ПОСАДОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ЛЕГКОМОТОРНОЙ АВИАЦИИ



Я. В. Кондрашов, *канд. техн. наук*
Т. С. Фиалкина

Введение

Совершенство различных систем аэронавигации можно представить в виде некоторой глобальной сети, составляющими которой в общем виде являются системы космического базирования – спутниковые навигационные системы GPS, ГЛОНАС и системы наземного базирования на основе формата сигналов ILS (Instrumental Landing System); VOR (Very High Frequency V.H.F. Omnidirection Range); DME (Distance Measuring Equipment), регламентированные международным комитетом гражданской авиации ICAO.

Однако существующие и вводимые в эксплуатацию стандартные навигационно-посадочные системы ILS, VOR, DME, РСБН (Радиотехническая система ближней навигации), СП (системы посадки) по своему прямому и единственному назначению являются стационарными, обслуживающими трассы с высокой плотностью полетов. Как правило, они работают с постоянным излучением электромагнитной энергии, обладают большими массогабаритными характеристиками, энергоемкостью и стоимостью как бортового, так и наземного оборудования. Вследствие этого они ни в коей мере не могут удовлетворять принципам оснащения трасс местных воздушных линий (МВЛ) и полетов воздушных судов (ВС), летательных аппаратов (ЛА).

Использование же спутниковой навигационной системы СНС определено ICAO как элемент глобальной навигационной сети и ее информацию разрешено использовать как дополнительную к другим системам для повышения надежности навигационных данных. А для обеспечения режима посадки ЛА дополнительно требуется наземное размещение достаточно объемного и дорогостоящего оборудования – дифференциальной станции. Поэтому возникает необходимость создания малогабаритной, мобильной (переносной), недорогой, унифицированной для различных потребителей радиотехнической системы для ВС МВЛ и ЛА АОН (авиации общего назначения) и ПАНХ (приме-

нение авиации в народном хозяйстве), совместимой с регламентированными ICAO средствами аналогичного назначения для магистральных ВС как с точки зрения навигационных электромагнитных полей, так и максимального использования бортового оборудования, размещаемого на ВС, ЛА. Тем самым открывается возможность использования ВС как на магистральных воздушных линиях, так и на не оборудованных стандартными системами трассах.

Использование принципов дальнометрии в обеспечении навигации и автоматической посадки ЛА на не оснащенные стационарным оборудованием аэродромы и посадочные площадки может найти применение для практического решения задач в связи с актуальностью такой проблемы для легкомоторной авиации.

Кроме того, в последние годы неуклонно повышается интерес к вопросам теории и практики многопозиционных измерительных систем различного назначения, в том числе основанных на принципах дальнометрии. Отличительной особенностью этих систем является использование в той или иной мере пространственно-временных методов обработки информации, заложенной в волноводных полях и радиосигналах, принимаемых одновременно из пространственно разнесенных точек.

Главной причиной такого интереса к многопозиционным радиосистемам является широта и разнообразие их применения (в радиолокации, радионавигации, радиоастрономии, радиогеодезии и др.) с реализацией высокочастотных характеристик, которые не под силу однопозиционным системам, слабо использующим пространственную когерентность радиосигналов.

В этой связи, для создания навигационно-посадочной системы для ВС МВЛ, ЛА АОН и ПАНХ представляется целесообразным использование принципов многопозиционности и дальнометрии при максимальной аппаратурной, программно-математической унификации таких систем на основе сигналообразую-

щих рекомендаций ИКАО, в частности DME.

Мобильная многопозиционная радиодальномерная навигационно-посадочная аэросистема

В настоящее время радиодальномерные системы DME/H и DME/P продолжают оставаться надежным средством ближней навигации и посадки. В этой связи широкое применение начинают получать системы определения местоположения ЛА на сигналообразующей и радиоаппаратурной основе, регламентированных ИКАО, принципов DME, в том числе использующие наземные многопозиционные мобильные (переносные) приемопередатчики и ретрансляторы [1].

Такая система (далее – МПСП) состоит из бортового и наземного оборудования БО/НО, характеристики которых совместимы со стандартизированной ИКАО системой DME. Это позволяет использовать БО и НО как при посадочных операциях ЛА в МПСП, так и самостоятельно, в том числе – при расширенных объемах аэронавигационного обслуживания систем VOR/DME.

Принцип действия МПСП (рис. 1) в режиме посадки ЛА заключается в измерении на борту ЛА дальности

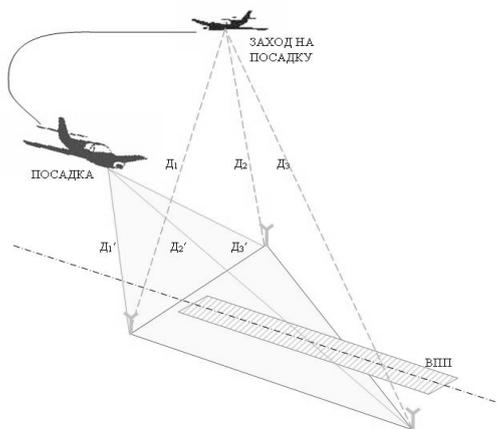


Рис. 1. Принцип действия системы

стей $D_{1,2,3}$ до маяков-ответчиков с известным их расположением на земле относительно взлетно-посадочной полосы (ВПП) и последующем вычислении на борту ЛА его местоположения. Информация выдается пилоту в аналоговом виде, требуемом для ручного управления ЛА, и/или в цифровом – для дальнейшей обработки в устройствах автоматического режима полета.

МПСП характеризуется следующими параметрами:

- зона действия системы в режиме привода ЛА к ВПП (на высотах до 6 тыс. м) – 75 км по дальности и 360 градусов по азимуту; в полете (на высотах более 6 тыс. м) – 240 км (в соответствии с документами ИКАО, -DO 189);

- точность определения местоположения ЛА в режиме посадки в стандартном секторе достаточна для её выполнения по 1 категории (документы ИКАО

– RNP 0.02/40);

- пропускная способность системы – до 10 ЛА;
- масса БО – 2,5 кг, маяка-ответчика и ретранслятора (без антенн) соответственно – 3 и 2 кг;
- время развертывания маяка-ответчика 2 чел. – 30 мин;
- электропитание маяка-ответчика (ретранслятора) – автономное (или от электросети), потребляемая мощность – 30 Вт.

В состав БО МПСП [1] входят (рис. 2):

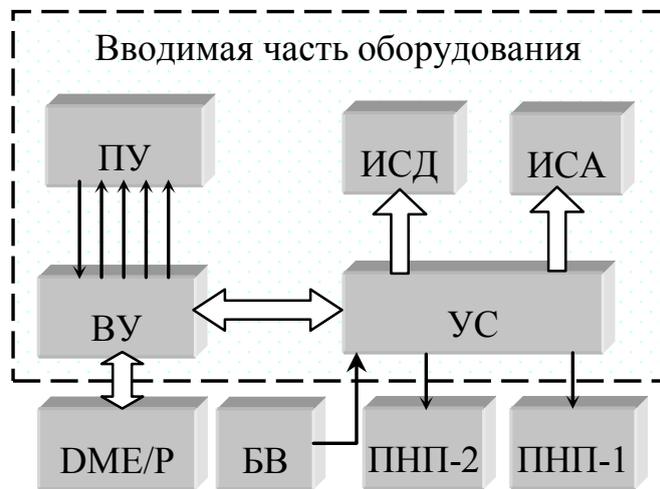


Рис. 2. Схема электрическая структурная бортового оборудования МПСП

- штатная аппаратура воздушных судов – радиодальномер DME/P (DME/PN), индикатор самолетный дальности ИСД, индикатор самолетный азимута ИСА, прибор навигационный планковый ПНП, баровысотометр БВ (радиовысотометр РВ);

- специальная аппаратура – пульт управления ПУ, вычислительное устройство ВУ, устройство сопряжения УС.

Наиболее перспективна система МПСП для использования на не оборудованных стандартными средствами посадки аэродромах МВЛ, временных посадочных площадках для сельскохозяйственных и спасательных работ, обслуживания геологоразведки, нефтедобычи и т. д.

Нецелесообразность использования стандартных, стационарных систем ILS, VOR/DME, MLS (Microwave Landing System) для решения указанных авиационных задач объясняется их сложностью и высокой стоимостью в случае установки на не оборудованных посадочными средствами аэродромах и авиатрассах с невысокой плотностью полетов ЛА.

Системотехнические показатели качества навигационно-посадочных аэросистем

Современное проектирование радиолокационных и радионавигационных комплексов основывается на необходимости решения следующих тактических задач:

- многофункциональность (в том числе пропускная способность);
- помехоустойчивость;
- надежность работы;
- стоимость комплекса и стоимость его эксплуатации.

Для решения таких задач могут быть использованы следующие основные современные технические направления развития указанных комплексов [2; 3; 4]:

- информационная структура сигналов;
- универсальность выполняемых задач и функций одним типом оборудования;
- совершенствование обработки информации;
- совершенствование технологии изготовления.

Данные направления сложным образом взаимосвязаны, с одной стороны, и не могут быть «в чистом виде» использованы, с другой стороны, ввиду наличия целого ряда ограничивающих и противоречивых факторов, к которым следует отнести:

- организационные;
- технико-конструкторская и технологическая реализуемость;
- стоимость разработки и эксплуатации.

Необходимо отметить, что ограничивающие факторы существуют для всех тактических задач, технических решений и на всех стадиях проектирования. Взаимосвязи задач, направлений и решений применительно к требованиям систем навигации и посадки гражданской авиации (ГА) представлены в табл. 1, из которой следует, что *первое и второе* технические направления построения комплексов предполагают выбор технических решений в виде изменяющихся параметров излучаемых и принимаемых посылок:

- несущая частота;
- длительность, период повторения, спектр, полярность и внутриимпульсная модуляция импульсных радиосигналов;
- мощность излучения.

Второе техническое направление подразумевает также решение в рамках одной системы нескольких задач, ранее решаемых отдельными радиотехническими средствами. Например, вместо существующих раздельно систем навигации, посадки и управления воздушным движением (УВД) возможен переход к единой универсальной системе с одним составом оборудования с математическими (цифровыми) принципами определения местоположения и траекторий полета ВС [5].

Третье и четвертое технические направления включают в себя совокупность новых технических устройств, методов (в том числе цифровых) обработки, технологических и конструкторских решений, влияющих на первичную и вторичную обработку, следовательно и на ТТХ изделий.

Принципы проектирования радиотехнических на-

вигационных и посадочных систем должны учитывать перечисленные как технические направления, так и ограничения. Для ВС МВЛ следует при этом учесть ряд особенностей. Так, количество необорудованных аэродромов и посадочных площадок на территории СНГ большое, а интенсивность полетов к ним невелика. Сами ВС МВЛ невелики, следовательно, унификация и массогабаритные характеристики БО при большом их количестве, включая вертолеты, играют важную роль. По тем же причинам нужно выделить автономность работы и необходимость обеспечения простоты обслуживания НО.

Известно, что характеристики эффективности работы системы определяются ее показателями качества (ПК) [6; 7].

Исходя из вышесказанного можно заключить, что для навигационно-посадочной системы МВЛ целесообразно ввести следующие ПК:

- многофункциональность;
- результирующая точность и зоны действия при определении местоположения ВС;
- надежность решения задачи;
- унификация и массогабаритные характеристики БО;
- автономность работы и простота обслуживания НО;
- стоимость эксплуатации НО.

Эффективность работы радиотехнической навигационно-посадочной системы для ВС МВЛ ГА можно оценить следующим образом:

$$W_m = \min W(\bar{x}, \bar{y}), \quad \text{при } \mathcal{E}(\bar{x}, \bar{y}) \geq \mathcal{E}^*,$$

где $W(\bar{x}, \bar{y})$ – стоимость разработки и эксплуатации системы;

$\mathcal{E}(\bar{x}, \bar{y})$ – эффективность системы;

\mathcal{E}^* – минимально допустимое значение $\mathcal{E}(\bar{x}, \bar{y})$;

\bar{x} – вектор параметров навигационно-посадочной системы;

\bar{y} – вектор параметров, характеризующих условия функционирования системы.

Поскольку количество учитываемых значений $\bar{\theta}$ очень велико, то вместо них и можно ввести обобщенные показатели, а именно: шесть ПК навигационно-посадочной системы для ГА [6; 7].

Сравнительные характеристики альтернативных систем при решении задач навигации и посадки ВС МВЛ

В принципе, из существующих и перспективных радиотехнических навигационных и посадочных систем применительно к задачам МВЛ можно рассматривать следующие:

- стационарные системы навигации или посадки VOR, ILS, СП, РСБН;
- спутниковые системы с использованием наземных дифференциальных станций;

Показатели качества навигационно-посадочных систем

Показатели качества системы	Точность и зоны действия определения местоположения ВС	Многофункциональность	Надежность решения задачи	Простота обслуживания наземного оборудования	Масса и габариты бортового оборудования
Основные направления совершенствования радионавигационных систем	Информационная структура сигналов	Многофункциональность (в том числе пропускная способность)	Совершенствование обработки информации в интересах потребителей	Конструкторско-технологическое совершенство	
Основные технические и конструкторско-технологические решения	Применение сложных сигналов. Доплеровская обработка	Изменяющиеся параметры системы: режим работы (автоматический или по управлению); длительность импульсов; форма и спектр импульсов; период повторения импульсов; параметры модуляции; мощность излучения передатчика; порог чувствительности приемника; форма диаграммы направленности; темп обзора и сопровождения; параметры алгоритмов траекторной обработки	Диалоговый режим «система-человек» Автоматизация управления и функционирования системы Комплексирование информации Развитие аппаратно-программных средств Контроль и диагностика состояния Резервирование аппаратуры	Автономность работы наземного оборудования Отсутствие направленных диаграмм направленности наземного оборудования Отсутствие требований облета наземного оборудования	
Основные устройства	Передатчик Приемник Антенно-фидерные устройства Устройства управления	Передатчик Приемник Антенно-фидерные устройства Устройства управления Устройства обработки информации	Устройства управления Вычислительные устройства Устройства индикации Устройства встроенного контроля	Элементная база Материалы Технологические процессы	

- микроволновую систему посадки MLS;
- мобильную многопозиционную запросно-ответную радиодальномерную систему посадки ЛА – МПСР с упрощенными наземными маяками, ориентированными на функционирование в сетке частот DME.

Исходя из рассмотренных выше критериев каче-

ства оценки систем можно представить сравнительные характеристики для их выбора в обеспечении полетов ВС МВЛ (табл. 2). Рассматривая данные этой таблицы, необходимо отметить следующее:

1. Под многофункциональностью системы следует понимать возможность решения нескольких задач с требуемым качеством одним составом аппаратуры.

Сравнительные характеристики навигационных и посадочных систем

Показатели качества Наименование систем	Многофункциональность	Точность решения задачи	Надежность решения задачи	Унификация и массогабаритные характеристики бортового оборудования	Автономность работы наземного оборудования	Простота обслуживания и стоимость эксплуатации наземного оборудования	Примечание (источники по характеристикам систем)
Стационарные системы: РСБН, VOR/DME; ILS, СП	—	— +	+	—	—	—	По эксплуатационным характеристикам
Микроволновая система посадки MLS: без оборудования DME/P; с оборудованием DME/P	—	+	+	— +	—	—	По данным документации MLS
Спутниковые навигационные системы (СНС) при работе с наземным оборудованием дифференциального режима	+	+	+	+	—	—	По литературным данным
Система на основе штатного бортового блока ДМЕ и наземных нестандартных маяков – МПСП	+	+	+*	+	+	+	По эскизной документации

* За счет избыточности маяков.

2. Точность системы рассматривается как возможность обеспечения посадки ВС, например по I или II категории ИКАО, тогда точность решения навигационных задач будет гарантирована тем более.

3. Под надежностью работы системы подразумеваются общепринятые параметры выполнения задачи.

4. Под унификацией бортового оборудования, кроме унификации выполняемых функций, нужно понимать возможность обеспечивать комплексирование информации других бортовых систем; возможность гибко изменять режимы работы, программы обработки информации и т.д. Например, использовать в вычислениях местоположения ВС информацию баровысотомера, пересчитывать выходную информацию для разных потребителей или выбирать разные опорные углы глиссады при заходе на посадку, а это требует наличия вычислительного устройства на борту ВС и соответствующих устройств сопряжения.

5. Под автономностью работы НО следует понимать его работу без постоянного присутствия обслуживающего персонала и с автономными источниками электропитания.

6. Характеризуя обслуживание и эксплуатацию НО, нужно учитывать следующие условия:

- наличие направленных диаграмм направленности и соответствующих юстировок при обслуживании;
- сложность транспортирования, развертывания на позиции и необходимость облета;
- наличие режима «запрос-ответ» или постоянно-го излучения в пространство;
- экономические факторы.

Исходя из предложенных оценок ПК в табл. 2 представлены значения показателей по критерию «выполняется (+), не выполняется (-)» для различных систем навигации и посадки. Из этой таблицы видно, что задачам полетов по МВЛ в наибольшей степени удовлетворяют СНС и МПСП, которая специально предназначена для этих задач [1]. Остальные системы, как видно, далеки от оптимальности применительно к специфике МВЛ, потому что решают частные задачи. Следовательно, перспективу оснащения воздушного пространства и ВС МВЛ радиотехническими средствами целесообразно строить на основе СНС и/или навигационно-посадочных систем, использующих стандартное БО ДМЕ и мобильные (переносные) маяки-ответчики [1; 8].

Такой подход не исключает использования промежуточных (гибридных) вариантов построения навигационно-посадочных систем для МВЛ, при которых возможны совместные варианты комплектования систем, например: СНС плюс МПСП; система типа DAS [2; 3; 4] плюс МПСП [1; 5; 8]; приводные радиостанции [6; 7] плюс упрощенный дальномерный маяк-ответчик [1] и т.д.

Выводы

На основании изложенного можно заключить следующее:

1. Для навигационно-посадочной системы МВЛ целесообразно ввести такие показатели качества: многофункциональность; результирующая точность и зоны действия при определении местоположения ВС; надежность решения задачи; унификация и массогаба-

ритные характеристики бортового оборудования; простота обслуживания и автономность работы наземного оборудования; стоимость самого оборудования и стоимость эксплуатации наземного оборудования.

2. Перспективу оснащения МВЛ можно рассматривать на основе спутниковых систем с использованием дифференциального режима или разнородностей систем МПСР [1; 8], использующих стандартный бортовой блок DME/P и нестандартные (упрощенные) наземные маяки-ответчики, работающие в частотном диапазоне DME.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондрашов Я. В., Фиалкина Т. С. Многопозиционная радиодальномерная система для автоматической посадки летательных аппаратов, Зб. наук. пр. К.: К.: Наука і молодь, Національний авіаційний університет. – 2007. – №7. – С. 106–109.

2. Пути развития радиолокационных систем. Whither radar Radford M.F. GEC7. Res. 1985, v.3, №2, p. 137–143.

3. Развитие радиолокационных методов наведения. The evolution of radar guidance/ GEC7. Res. 1985, r 3, № 2, p. 92–103.

4. Современное состояние и перспективы развития радиолокации. Present and Future evolution of radars / Carpentier M.H. 1985, v 28, № 6, Microwave 9.

5. Кондрашов В. И., Кондрашов Я. В. Развитие новых технологий в системах управления воздушным движением // Информатизація та нові технології, Державний комітет України з питань науки і технології. – 1996. – №1. – С. 11–14.

6. Лезин Ю. С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем. – М.: Радио и связь, 1986.

7. Конторов Д. С., Голубев-Новожилов Ю. С. Введение в радиолокационную системотехнику. – М.: Сов. радио, 1971.

8. Кондрашов Я. В. Синтез сигналов с биасимметричными спектрами и их применение в запросно-ответных радиолокационных системах: тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Проблемы совершенствования систем аэронавигационного обслуживания и управления подвижными объектами, Аэронавигация-96», Киевский международный университет гражданской авиации. – Киев, 24–26.09.1996. – С. 47–48.

УкрІНТЕІ надає послуги:

видавничо-поліграфічні

521-09-37, 521-09-06

тиражування матеріалів

повнокольоровий друк

комп'ютерний набір і верстка

додрукарська підготовка та післядрукарська обробка

наукове й літературне редагування науково-економічних та

інформаційних матеріалів

виготовлення брошур, журналів, каталогів, буклетів, бланків

з організації виставкової діяльності

521-00-18

організація і проведення тематичних

виставок і виставок-ярмарків