

УДК 629.7.05

## **Микроволновая система посадки маневренных самолетов государственной авиации на принципах когнитивной обработки**

Криворучко Ю. Т., Шатраков Ю. Г.

*АО «ВНИИРА»*

*пр. Обуховской Обороны, д. 120, г. Санкт-Петербург, 192012, Российская Федерация  
krivoruchko.yuri@mail.ru*

Получено: 21 мая 2023 г.

Отрецензировано: 31 мая 2023 г.

Принято к публикации: 31 мая 2023 г.

**Аннотация:** *В статье рассмотрена микроволновая система инструментальной посадки международного диапазона для маневренных самолетов. Подход основан на принципах когнитивной технологии, включающей совокупность процессов приобретения, преобразования и использования накопленных знаний, реализуемой на основе доверенных вычислительных СНК платформ.*

**Ключевые слова:** *микроволновая система, система посадки, государственная авиация, когнитивная обработка.*

**Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008):** Криворучко Ю. Т., Шатраков Ю. Г. Микроволновая система посадки маневренных самолетов государственной авиации на принципах когнитивной обработки // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2023. Т. 6, № 3. С. 294—307.

**Для цитирования (ГОСТ 7.0.100—2018):** Криворучко, Ю. Т. Микроволновая система посадки маневренных самолетов государственной авиации на принципах когнитивной обработки / Ю. Т. Криворучко, Ю. Г. Шатраков // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2023. — Т. 6, № 3. — С. 294—307.

### **1. Введение**

Первая отечественная система слепой посадки метрового диапазона волн была разработана для ночных посадок бомбардировщиков ДБ-3 во время войны с Финляндией в 1939 году. Системы посадки, работающие в диапазоне метровых волн ИЛС, имели ряд характерных недостатков. В частности практика выполнения автоматических посадок требовала специального разрешения службы УВД и значительного продольного разде-

ления самолетов в пространстве при заходе на посадку в условиях плохой видимости, что существенно влияло на пропускную способность аэропортов. Это определило дальнейший переход радиомаяков, в первую очередь для военной авиации, в дециметровый диапазон [2]. В настоящее время в военной авиации РФ эксплуатируются морально устаревшие системы дециметрового диапазона ПРМГ-76. Развитие систем сотовой связи GSM-900, которые работают в этом же диапазоне, определило необходимость перевода систем РСБН/ПРМГ в международный диапазон [2].

## 2. Проблема создания МЛС

В результате большой подготовительной работы в 1981 году ИКАО приняла план перехода с ИЛС на принципиально новую радиомаячную систему сантиметрового диапазона волн МЛС, затем в 1986 году этот план был еще раз подтвержден. В этот же период ИКАО были разработаны и опубликованы рекомендованные стандарты на систему, включенные в Приложение 10. В нашей стране институтом ВНИИРА проводились работы по созданию соответствующего оборудования микроволновой системы посадки (МСП) «Плацдарм» и проводились ее испытания. В 1989 году система «Плацдарм» успешно прошла государственные испытания по категории III ИКАО.

В действительности до настоящего времени системы ИЛС и МЛС являются единственными системами, стандартизированными ИКАО, которые удовлетворяют требованиям обеспечения автоматической посадки по Категории III, а система МЛС является единственной альтернативой ИЛС, которая может быть сертифицирована для обеспечения наведения при посадке по Категориям I, II и III ИКАО.

В 1995 году, после того, как ряд образцов систем МЛС в США и других странах были уже запущены в эксплуатацию, Федеральное Авиационное агентство США предложило ИКАО заменить МЛС на уже казавшуюся тогда почти готовую дифференциальную спутниковую систему LAAS (DGNS). ИКАО согласилась с указанным предложением, и на Всемирной конференции в марте 1995 года принятый ранее план перехода с ИЛС на МЛС был отменен.

Однако после более чем 30-летней разработки спутниковой системы международная авиационная общественность на конференции ИКАО в 2012 г. не смогла принять ГНСС в качестве основного международного средства навигации и посадки и пришла к заключению о проведении исследований по созданию системы, альтернативной системе спутниковой навигации.

Учитывая опыт ВНИИРА в части создания микроволновой системы посадки (МСП) 2-сантиметрового и 6-сантиметрового диапазонов, в том числе создания микроволновой посадки для орбитального корабля Буран, целесообразно провести разработку МЛС, в первую очередь для государственной авиации.

В первой отечественной монографии по радиомаякам 1936 г. [1], ее автор профессор В. И. Баженов рассмотрел уникальные особенности радиомаяков сантиметрового диапазона волн на основе узконаправленных антенн. Определим набор преимуществ радиомаяков микроволнового диапазона, определяющих концепцию ее создания в современных особых условиях.

1. Повышение безопасности полетов ЛА за счет повышения точности определения навигационных параметров на основе узконаправленных диаграмм азимутальных и угломестных антенн.

2. Высокая пропускная способность (Темп выдачи информации до 39 Гц) при значительном уменьшении динамической ошибки определения навигационных параметров для высокоскоростных ЛА.

3. Экономия топлива за счет оптимизации траектории снижения при заходе на посадку.

4. Снижение влияния шума двигателей на жилые массивы, прилегающие к аэродрому за счет использования «крутых» глиссад.

5. Обеспечение регулярности полетов и снижение их стоимости в сложных метеоусловиях, в том числе в условиях арктического севера.

6. Сокращение объемов строительно-монтажных работ из-за менее строгих требований к размещению оборудования.

7. Обеспечение посадки самолетов различных типов на необорудованные аэродромы, включая посадки самолетов-заправщиков и БПЛА [3].

Современный подход на основе когнитивности, то есть совокупности процессов приобретения, преобразования и использования накопленных знаний с использованием отечественных вычислительных платформ позволяет реализовать МСП на следующих принципах:

**принцип когнитивности**, который определяет архитектуру, аппаратное и программное исполнение комплексов на базе накопленных теоретических знаний, опыта и учета влияния внешней среды;

**принцип иерархической автономности**, предусматривающий многоуровневую структуру комплекса;

**принцип магистрально-модульности**, обеспечивающий построение комплекса с применением базового набора аппаратных и программных модулей (ИМА).

**принцип открытости архитектуры**, который определяет возможность последующей модернизации комплекса путем наращивания или замены аппаратных и программных модулей.

Введение когнитивной обработки сигналов в азимутальном и угломестном каналах может быть реализовано на представленной на рис. 1 микро-ЭВМ.

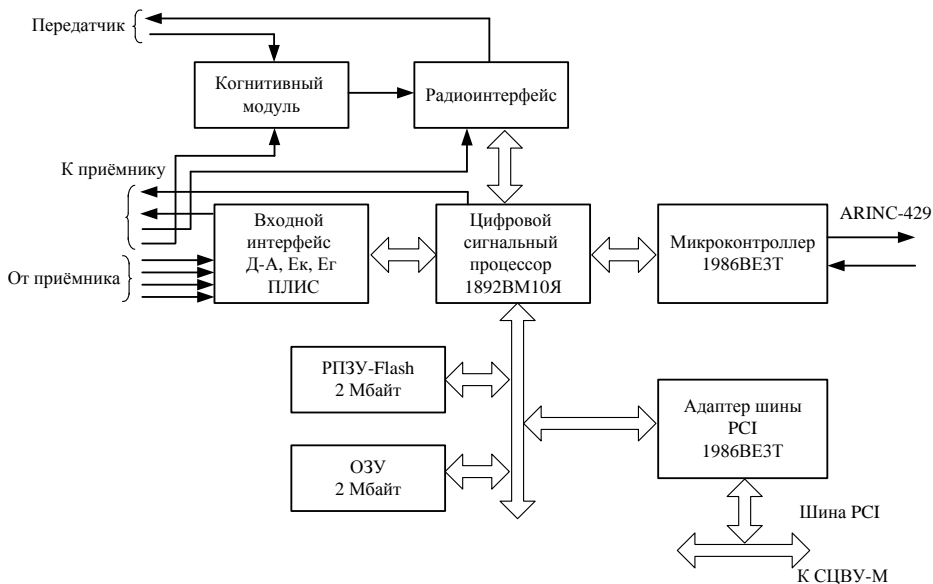


Рис. 1. Когнитивная микро-ЭВМ с обработкой сигналов посадки МСП.

Fig. 1. Cognitive micro-computer with signal processing of the microwave landing system

Микро-ЭВМ реализована на микропроцессорном комплексе «Мультикор», который получил значительное развитие, в том числе и в космической сфере. Особенностью комплекса является реализация в одном чипе сигнального процессора и вычислительного процессора для вторичной обработки сигналов и информации. Представляется, что для государственной авиации необходима мобильная МЛС, которая заменит существующие мобильные системы дециметрового диапазона [2].

### 3. Требования к мобильной МЛС

Наименование ТТХ	СПМ-М
1 Частотный диапазон	5030—5091 МГц
2 Зона действия: — по азимуту	±40°

Наименование ТТХ	СПМ-М
— по углу места — по дальности	от 0,9 до 15° не менее 37 км
3 Ширина луча по азимуту	не более 2,8°
4 Ширина луча по углу места	не более 2,2°
5 Погрешности наведения (системные, с P = 95 %) — погрешность следования по траектории — шумы следования по траектории — шумы системы управления	<b>По азимуту:</b> ±8,4 м ±3,2 м ±3,2 м
6 Погрешности наведения (системные, с P = 95 %) — погрешность следования по траектории — шумы следования по траектории — шумы системы управления	<b>По углу места:</b> ±0,173° ±0,053° ±0,06°
7 Время обнаружения аварийного состояния — по азимуту — по углу места	не более 1 сек не более 1 сек
8 Классы обслуживаемых ВПП	I, II, III (длиной до 3500 м)
9 Расчет для свертывания/развертывания	3 чел.
10 Время свертывания/развертывания оборудования	2—4 часа

#### 4. Оценка точности измерения координат ВС при работе МЛС

Точность измерения угловых координат ВС, находящегося в зоне МЛС, определяется среднеквадратической ошибкой по формуле

$$\sigma = \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_a^2}, \quad (1)$$

где  $\sigma_n$  — потенциальная составляющая ошибки;

$\sigma_a$  — аппаратурная составляющая ошибки.

При этом предполагается, что систематические ошибки учитываются при калибровке аппаратуры.

Аппаратурные или инструментальные ошибки вызваны несовершенством техники изготовления аппаратуры и методов отсчета. Они связаны с нелинейностью устройств обработки, дискретностью отсчета, нестабильностью работы отдельных элементов. Потенциальная (флюктуационная) составляющая ошибки определяется видом используемого сигнала и соотношением сигнал/шум на выходе приемника, а также влиянием помех, в частности, отражений от предметов на местности.

В МЛС точность измерения координат ВС связана как с погрешностями определения местоположения (азимута, угла места и дальности), так и с неправильной дешифрацией содержащихся в преамбуле кодовых сообщений: кода Баркера, обеспечивающего синхронизацию приемника (5

разрядов), кода идентификации функций, обеспечивающего правильную идентификацию измерений радиомаяков (7 разрядов), а также кода, содержащего основные данные (32 разряда). Особенно существенно на точность захода на посадку может повлиять неправильная дешифрация минимального угла глиссады, установки нуля азимута и коэффициента чувствительности к смещению сигнала, который вычисляется в зависимости от расстояния между азимутальным маяком и торцом ВПП. Неправильное декодирование этой информации может привести к ошибкам, превышающим 5 СКО, то есть к нарушению целостности системы и выходу за внешние границы «туннеля» посадки.

В наземном оборудовании основная часть погрешности приходится на погрешность установки статической диаграммы направленности фазированной антенной решетки, дискретности фазовращателя и алгоритма фазирования.

На борту угловые координаты определяются по огибающей динамической диаграммы направленности, которая для каждого углового положения ВС складывается из множества статистических диаграмм. При этом источниками ошибок измерений являются шумы приемника, дискретность измерений и перемещения диаграммы направленности антенны, ошибки фиксации временного положения импульсов сканирования и искажения их фронтов, нестабильность частоты, а также рассеивание сигнала и его переотражения от предметов на местности.

Ошибка измерения угловых координат МЛС расфилтровывается на две составляющие, которые по разному влияют на точность посадки:

*PFE* — часть погрешности, приводящая к смещению ВС с заданной траектории посадки и состоящая из шума следования по траектории и смещения самой траектории относительно заданной. Эта ошибка зависит от:

- дискретности шага сканирования (при шаге сканирования антенны 0,78 мкс и определении точки пересечения порога с импульсом с шагом 0,02 мкс суммарная ошибка находится в пределах  $-0,8...+0,8$  мкс);
- ошибки центрирования антенны;
- дрейфа антенны;
- переотражений от предметов на местности (для определения азимута);
- отражения от поверхности земли (для определения угла места);
- центровки бортового приемника.

*CMN* — часть погрешности, воздействующая на органы управления ВС, но не вызывающая смещения траектории. Ошибки *CMN* зависят от:

- ветровой нагрузки на антенну;
- переотражений от предметов на местности;
- отношения сигнал/шум в приемнике.

Определение этих ошибок основывается на проведении спектрального анализа ошибок измерений и проведении фильтрации измерений через сглаживающий фильтр, фильтр следования по траектории (выделение *PFE*) и фильтр движения поверхностей управления (выделение *CMN*).

Искажение кодовых комбинаций преамбулы может привести к невозможности использования информации МЛС. Степень искажения кодовой комбинации, то есть ее достоверность, оценивается вероятностью ошибки в  $n$ -разрядном кодовом сообщении —  $P_{\text{ош}}$ . Требуемое значение вероятности необнаружения ошибки, остающейся после процесса дешифрации в приемнике МЛС, установлено Комитетом по всепогодным операциям *ИКАО*: не более  $10^{-6}$  при минимальной мощности сигнала и не более  $10^{-9}$  в критических точках захода на посадку.

Для определения точностных характеристик МЛС на разных этапах проектирования применялись различные методы.

**Натурное и полунатурное моделирование системы.** Как показали результаты моделирования, наземное оборудование вносит только низкочастотную составляющую (*PFE*), так как вносимая ФАР высокочастотная составляющая (*CMN*) соизмерима с соответствующей составляющей бортовой аппаратуры и методами вторичной обработки (фильтрацией) может быть сведена к минимуму.

Для бортовой аппаратуры наиболее значительными факторами, определяющими точность, являются:

- уровень ВЧ-сигнала (шумовая составляющая);
- скорость изменения углового положения ВС;
- форма огибающей ВЧ-сигнала на выходе.

**Статистическое моделирование на математической модели бортовой аппаратуры МЛС.**

Разработанная математическая модель включала две части:

1. Модель оценки точности обработки сигналов, содержащих импульсы сканирования. Модель включает следующие блоки:

- имитацию движения ВС в зоне с расчетом временного положения прямого и отраженного сигналов относительно момента начала сканирования в одном направлении и сигналов от местных предметов;
- формирование суммарного сигнала на выходе фильтра НЧ в моменты, отстоящие друг от друга на шаг сканирования;
- сравнение сигнала с порогом и определение моментов пересечения фронтов сигнала с порогом;
- определение несовпадений обнаруженных импульсов со стробами, сформированными по импульсам предыдущего цикла;

— счет обнаруженных импульсов и определение измеряемого угла;  
— фильтрация измерений с выделением составляющих *PFE* и *CMN*;  
— статистическая обработка результатов моделирования с определением МО и СКО ошибки и ее составляющих.

2. Модель оценки вероятности необнаружения кодов преамбулы и точности дешифровки кода Баркера.

В результате проведенного моделирования было показано:

— ошибки измерений не превышают  $0,015^\circ$ , а при отношении с/ш на выходе детектора  $\geq 35$  дБ составляют  $0,01^\circ$ ;

— ошибка измерений существенно зависит от уровня и метода фиксации сигнала и относительного положения отражающих объектов.

При этом показано, что метод определения центра импульса по центру площади импульса имеет в 1,5—2 раза меньшие ошибки, чем метод фиксации по пересечению фронтов. Некоторое повышение точности (в 1,2—1,3 раза) может быть получено за счет применения интерполяции для определения точек заданного уровня на фронте и срезе импульсов, так как за счет шумов может иметь место несколько пересечений импульса с заданным уровнем порога.

## 5. Аналитический расчет ошибок

### 5.1. Оценка шумовой составляющей ошибки (*CMN*)

Аналитическая оценка позволяет определять шумовую составляющую флюктуационной ошибки, которая является основной ее составляющей, так как ошибки, связанные с распространением радиоволн и многолучевым распространением при небольших дальностях, невелики.

Для аналитической оценки СКО шумовой составляющей ошибки измерения применима формула

$$\sigma = \frac{\Delta\theta^0}{2 \cdot \sqrt{h \cdot g}} = \frac{\Delta\theta_{0,7}^0}{2 \cdot \sqrt{h_{nc} \cdot \frac{B_{пч}}{2B_{видео}} \cdot \frac{F}{\Delta F}}}, \text{ где} \quad (2)$$

$h$  — отношение сигнал/шум на фильтре огибающей;

$g$  — отношение выборочной частоты функции к ширине полосы шума выходного фильтра приемника, которая в  $\pi/2$  раз превышает ширину полосы 3 дБ;

$\Delta\theta$  — ширина луча антенны в градусах;

$B_{пч}$  — полоса пропускания усилителя ПЧ (26 кГц);

$B_{видео}$  — полоса пропускания видеоусилителя (20 кГц);

$F$  — частота обновления данных (13,5 Гц для азимута);



$\Delta F$  — полоса среза выходного фильтра приемника (1,6 Гц).

Отношение сигнал/шум на входе приемника определяется формулой

$$h = \frac{2 \cdot P1 \cdot \lambda^2 \cdot G1 \cdot G2 \cdot \beta}{16 \cdot \pi^2 \cdot P2 \cdot D^2 \cdot \rho \cdot L}, \text{ где} \quad (3)$$

$P1$  — мощность передатчика;

$P2$  — чувствительность приемника;

$G1, G2$  — коэффициенты усиления передающей и приемной антенн;

$L=L1+L2$  — потери в передающей и приемной АФС;

$\lambda$  — длина волны;

$D$  — дальность передачи сигнала;

$\rho$  — потери при несогласованной фильтрации;

$\beta$  — потери при распространении радиоволн в атмосфере, зависящие от дальности до ВС и длины волны, при  $\lambda = 0,06$  м (5100 МГц)  $\beta = 10^{-0,03 D}$ .

Шаговая развертка приводит к дискретности отсчета и искажению формы сигнала. При ширине луча  $1^\circ$ , скорости развертки 0,02 град/мкс и ширине полосы пропускания 20 кГц погрешность из-за искажения формы сигнала мала.

Погрешность за счет дискретности отсчета зависит от ширины шага развертки —  $\Delta\theta$  и ширины луча при пороговом значении —  $\Delta\alpha$ . СКО погрешности равно :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Delta\theta^2}{12} - \frac{c\Delta\theta}{2} + c^2}, \quad (4)$$

$$\text{где } c = \min \{a, b\}, \quad a = \frac{\Delta\alpha}{2} - \Delta\theta \cdot \left[ \frac{\Delta\alpha}{2\Delta\theta} \right]^4, \quad b = \Delta\alpha - a.$$

## 5.2. Оценка PFE при наличии преотражений от местных предметов

Ошибка определения линии курса связана с угловым отклонением максимума диаграммы направленности ( $\varphi$ ) от линии, совпадающей с осью ВПП, и может быть определена по формуле

$$\varepsilon = \kappa/2 \cdot \left| \frac{f(\varphi + \varphi_t)}{f(\varphi)} \right|, \text{ где} \quad (5)$$

$\kappa$  — модуль отношения поля, отраженного от препятствия, к основному полю в месте приема;

$f(\varphi)$  — диаграмма направленности антенны;

$\varphi_t$  — угловое положение местного предмета.

Ошибка указания линии курса тем меньше, чем больше крутизна диаграммы направленности в месте приема.

### 5.3. Оценка ошибок МЛС при заходе на посадку по вычисленным траекториям

Заход на посадку может производиться по вычисленным траекториям, в частности, по вычисленной осевой линии.

В отличие от захода по глиссаде вдоль оси ВПП при заходе по вычисленной траектории бюджет ошибок кроме ошибок, входящих в состав системы элементов (азимутального и угломестного маяком и дальномера), включает погрешности расчетов в вычислителе системы, ошибки, связанные с расположением элементов МЛС, то есть геометрию наземной системы и зависит от направления полета ВС.

Требования к ошибкам для этого случая задаются в виде суммарной ошибки местоположения в горизонтальной плоскости (в точке на высоте 60 м над точкой начала отсчета МЛС при угле глиссады  $3^\circ$ ) и составляют  $\pm 15$  м в горизонтальной плоскости и  $\pm 3,7$  м в вертикальной плоскости (для 95 % измерений). При этом погрешность *CMN* не должна превышать  $\pm 7,3$  м в горизонтальной плоскости,  $\pm 1,9$  м в вертикальной плоскости.

Чтобы сравнить возможности МЛС с заданными требованиями необходимо произвести пересчет координат МЛС (азимут —  $\alpha$ , угол места —  $\theta$ , дальность —  $R$ ) в прямоугольную систему координат —  $X, Y, Z$ .

Алгоритм пересчета координат основан на решении системы уравнений, позволяющей найти точку пересечения трех поверхностей

$$\begin{aligned}(x - dx_R)^2 + (z - dz_R)^2 + y^2 &= R^2 \\ y - dy_\theta &= tg\theta \cdot \sqrt{(x - dx_\theta)^2 + (z - dz_\theta)^2} \\ z - dz_\alpha &= tg\alpha \cdot (x - dx_\alpha)\end{aligned}\quad (6)$$

где  $dx_R, dz_R, dy_\theta, dz_\theta, dx_\alpha, dz_\alpha$  — координаты точек стояния *DME-P*, азимутального и угломестного радиомаяков.

## 6. Требования к точности МЛС и ее элементов

Требования к точности систем посадки определяются допустимыми отклонениями ВС на участке визуального снижения и в точке приземления, а также минимальных и максимальных углов снижения по глиссаде. Все эти характеристики зависят от категории захода на посадку.

Исходя из этих допустимых отклонений, определяются требования к характеристикам сигнала при заходе на посадку в горизонтальной и вертикальной плоскостях, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1. Требования к характеристикам сигнала при заходе на посадку.

Table 1. Approach signal performance requirements

Типовая операция	Начальный и неточный заход на посадку	Точный заход на посадку по 1-й категории	Точный заход на посадку по 2-й категории	Точный заход на посадку по 3-й категории
Точность в горизонтальной плоскости, 95 %	220 м	В 30 м от поверхности Земли 16 м (9,1 м)	В 15 м от поверхности Земли 6,9 м (4,6 м)	В 0 м от поверхности Земли 6,1 м (4,1 м)
Точность в вертикальной плоскости, 95 %	нет	6—4 м (3 м)	2 м (1,4 м)	2 м (0,5 м)

Приведенные в таблице требования трансформируются в требования к точности определения азимута, угла места и дальности, с разделением на составляющие  $PFE$ ,  $PFN$ ,  $CMN$ , которые приведены в таблицах 2, 3.

Таблица 2. Требования к точности определения азимута (допустимые ошибки — 95 %).

Table 2. Requirements for the accuracy of determining the azimuth (permissible errors – 95%)

Дистанция от ВПП	$PFE$	$PFN$	$CMN$
0 км (на высоте 15 м)	6 м (0,17°)	3,5 м	3,2 м
1 км (АРД)	7 м		
37 км	8,4 м		0,1°
Допустимое снижение точности на краях зоны	Линейно до $\pm 40$ градусов, максимальная ошибка на краях зоны увеличивается в 1,5 раза		

Таблица 3. Требования к точности определения угла места (допустимые ошибки — 95 %).

Table 3. Requirements for the accuracy of determining the elevation angle (permissible errors – 95%)

Дистанция от ВПП	$PFE$	$PFN$	$CMN$
0 км (на высоте 15 м)	0,6 м (0,057°)	0,4 м	0,3 м (0,05°—0,07°)
1 км (АРД)	0,133°		0,066°
37 км	0,16°		0,1°
Допустимое снижение точности на краях зоны	Линейно до $\pm 40$ градусов, максимальная ошибка на краях зоны по азимуту для $PFE$ увеличивается в 1,2 раза, для $CMN$ — в 2 раза. На предельной дальности — в 2 раза		

Зависимость СКО ошибок в пределах зоны выражается формулами:

$$\sigma_{PFE} = 6 \cdot \left(1 + \frac{D}{37}\right) \cdot \left(1 + 0,5 \cdot \frac{|A|}{40}\right) \cdot Ka, \quad (7)$$

$$\sigma_{CMN} = 3,2 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{D}{18,5}\right) \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{|A|}{40}\right). \quad (8)$$

$K_a = 1$  при угле места  $\theta$  меньше  $9^\circ$ ;  $1 + (9^\circ - \theta) 16^\circ$  — при  $9^\circ \leq \theta \leq 15^\circ$ ;  $2$  — при  $\theta > 15^\circ$ .

$$\sigma_{PFE} = [PFE_\varepsilon + (0,2 - PFE_\varepsilon) \cdot \frac{D}{37}] \cdot (1 + 0,3 \cdot \frac{|A|}{40}),$$

$$PFE_\varepsilon = 0,6 \cdot (1 + \frac{\varepsilon - \varepsilon 1}{15 - \varepsilon 1}) \text{ при } \varepsilon \geq \varepsilon 1 \quad (9)$$

$$PFE_\varepsilon = 0,6 \cdot (6 - 5 \cdot \frac{\varepsilon - 0,9}{0,6\varepsilon 1 - 0,9}) \text{ при } \varepsilon \leq 0,6\varepsilon 1.$$

$$\sigma_{CBT} = CMN_\varepsilon \cdot (1 + 0,3 \cdot \frac{D}{18,5}) \cdot (1 + 0,3 \cdot \frac{|A|}{40}),$$

$$CMN_\varepsilon = 0,07^0 \text{ при } |CMN_\varepsilon| \geq 0,07^0,$$

$$CMN_\varepsilon = 0,3 \cdot (1 + \frac{\varepsilon - \varepsilon 1}{15^0 - \varepsilon 1}), \quad (10)$$

$$CMN_\varepsilon = 0,3 \cdot (6 - 5 \cdot \frac{\varepsilon - 0,9}{0,6 \cdot \varepsilon 1 - 0,9}).$$

## 7. Заключение

Создание мобильной микроволновой системы посадки является актуальной научно-технической задачей в целях повышения эффективности применения государственной авиации, в том числе во время локальных военных действий и дальнейшего развития ЛА, включая самолеты специального назначения типа БПЛА.

## Список литературы

1. Баженов В. И., Мясоедов Н. А. Радиомаяки. М. : Госиздат по технике связи, 1936. 672 с.
2. Ершов Г. А., Король В. М., Криворучко Ю. Т., Максименко М. Д., Переломов В. Н., Синецын Е. А., Шатраков Ю. Г. Радиомаячная система инструментального захода воздушных судов на посадку категории II для работы в дециметровом отечественном и международном диапазонах волн ПРМГ-ОМД // Новости навигации. 2017. № 1. С. 16—19.
3. Криворучко Ю. Т., Музелин Ю. Н., Пономаренко Б. В. Совершенствование систем и средств посадки высокоманевренных летательных аппаратов классов 4++ и 5 // Новости навигации. 2018. № 3. С. 17—26.
4. Пахолков Г. А., Збрицкая Г. Е., Криворучко Ю. Т., Пономаренко Б. В., Шатраков Ю. Г. Обработка сигналов в радиотехнических системах ближней навигации. М. : Радио и связь, 1992. 256 с.

### **Информация об авторах**

**Криворучко Юрий Тимофеевич**, д. т. н., профессор Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации, главный конструктор систем навигации и посадки АО «ВНИИРА», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

**Шатраков Юрий Григорьевич**, д. т. н., профессор, АО «ВНИИРА», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

# Microwave Radio Beacon Instrument Approach Landing System for the Highly-Maneuverable Aircrafts on Principles of the Cognitive Processing

Y. T. Krivoruchko and Y. G. Shatrakov

All-Russian Scientific Research Institute of Radio Equipment, JSC  
120, Obukhovskoy Oborony Prospect, St. Petersburg, 192012, Russian Federation  
krivoruchko.yuri@mail.ru

Received: May 21, 2023

Peer-reviewed: May 31, 2023

Accepted: May 31, 2023

**Abstract:** *The article considers an international range microwave instrument landing system for maneuverable aircraft. The approach is based on the principles of cognitive technology, which includes a set of processes for acquiring, transforming and using accumulated knowledge, implemented on the basis of trusted computing SoC platforms.*

**Keywords:** *microwave radio beacon instrument approach landing system, state aviation, cognitive processing.*

**For citation (IEEE):** Y. T. Krivoruchko and Y. G. Shatrakov, "Microwave Radio Beacon Instrument Approach Landing System for the Highly-Maneuverable Aircrafts on Principles of the Cognitive Processing," *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 6, no. 3, pp. 294–307, 2023, doi: 10.29039/2587-9936.2023.06.3.23. (In Russ.).

## References

- [1] V. I. Bazhenov and N. A. Myasoyedov, *Radio Beacons*. Moscow : Gosizdat, 1936. (In Russ.).
- [2] G. A. Ershov et al., "Radio beacon instrument category II approach system for domestic and international UNF range wave PRMG-UNF," *Navigation News*, no. 1, pp. 16–19, 2017. (In Russ.).
- [3] Y. T. Krivoruchko, Y. N. Muzelin, and B. V. Ponomarenko, "The Perfection of the Systems and the Equipment for the Approach of Highly-Maneuverable Generations 4++ and 5 Aircrafts," *Navigation News*, no. 3, 2018, pp. 17–26. (In Russ.).
- [4] G. A. Pakholkov, G. E. Zbritskaia, Y. T. Krivoruchko, B. V. Ponomarenko, and Y. G. Shatrakov, *Signal processing in radio systems of short-range navigation*. Moscow : Radio i Svyaz, 1992. (In Russ.).

## Information about the authors

**Yuri T. Krivoruchko**, Dr. Tech. Sc., Professor of St. Petersburg State University of Civil Aviation, chief designer of navigation and landing systems of JRC "VNIIRA", St. Petersburg, Russian Federation.

**Yuri G. Shatrakov**, Dr. Tech. Sc., Professor, JRC "VNIIRA", St. Petersburg, Russian Federation.