

## Принципы построения и основные характеристики перспективной курсо-глицсадной системы

А.А. Головков, В.А. Головков

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»  
394064, Россия, г. Воронеж,  
ул. Старых Большевиков, 54а

**Аннотация – Введение:** на основе анализа известной литературы показано, что современные курсо-глицсадные системы имеют недостатки, связанные с наличием в них генераторов несущего сигнала, отсутствием частотной и пространственной селекции сигнала и помехи. **Цель работы:** разработать принципы построения перспективной помехоустойчивой курсо-глицсадной системы на основе совместного использования обратно направленных отражателей, апертурных антенн и электродинамических управляемых слоистых неоднородных структур. Управляемые слои представляют собой периодические решетки проводящих элементов с включенными в их разрывы нелинейными элементами. Неуправляемые слои – это диэлектрические слои без потерь и периодические решетки проводящих элементов. **Материалы и методы:** алгоритмы параметрического синтеза управляемых и неуправляемых слоев электродинамических неоднородных структур, экспериментальные методы анализа моностатических и бистатических диаграмм обратного рассеяния, экспериментальные методы определения частотных характеристик электродинамических неоднородных структур в различных состояниях управляемых слоев. **Результаты:** показана возможность проектирования перспективной курсо-глицсадной системы с заданными характеристиками, обеспечивающими новый способ радиосвязи без использования собственного генератора несущего сигнала. **Заключение:** предлагаемая курсо-глицсадная система может быть использована для решения многих задач, которые с помощью известной курсо-глицсадной системы решить нельзя. К таким задачам относятся имитация движущихся и стационарных объектов вооружения и военной техники; скрытная передача информации в условиях отсутствия собственного источника несущего сигнала; радиоэлектронное подавление систем радиосвязи и управления, радиолокационных систем управления оружием вероятного противника.

**Ключевые слова** – курсо-глицсадная система; управляемые и неуправляемые слои электродинамической неоднородной структуры.

### Введение

Анализ возможностей известных курсо-глицсадных систем (КГС) [1–6] показывает, что по сути функционирования эти системы являются системами извлечения информации, обеспечивающими безопасность посадки самолетов и идентификацию аэропортов. У экипажа имеется возможность приема сообщений от диспетчера. Поэтому традиционные КГС имеют недостатки, связанные с наличием в КГС генератора несущего сигнала. Это увеличивает энергопотребление, стоимость и массогабаритные характеристики. Отсутствуют частотная и пространственная селекция сигнала и помехи. Отражения сигналов КГС, возникающие из-за наличия различных объектов в ее области действия, например гор, холмов, домов, ангаров, самолетов и автомобилей, создают определенные искажения сигналов (помехи) для систем летательных аппаратов (ЛА), определяющих местоположение относительно глицсады. Кроме того, известная КГС может служить только для прямых заходов, поскольку линия равной интенсивности маяков всего одна.

В данной статье делается попытка разработки предложений по устранению указанных недостат-

ков. Для этого целесообразно проанализировать существующие и перспективные способы радиосвязи и системы их реализации.

### 1. Новый способ радиосвязи для перспективных курсо-глицсадных систем

В традиционных системах радиосвязи дальность связи ограничивается пределом прямой видимости при крупных препятствиях и условиями дифракции электромагнитных волн при препятствиях, размеры которых малы по сравнению с длиной волны или соизмеримы с ней. Для устранения такого ограничения используется способ радиосвязи, отличающийся тем, что при больших расстояниях между абонентами, превышающих пределы прямой видимости, для переотражения модулированного сигнала одного абонента в сторону другого абонента, в интересах огибания препятствия используют искусственные или естественные неоднородности. Реализация этого способа осуществляется путем применения ионосферы в качестве естественной неоднородности. В качестве искусственной неоднородности могут

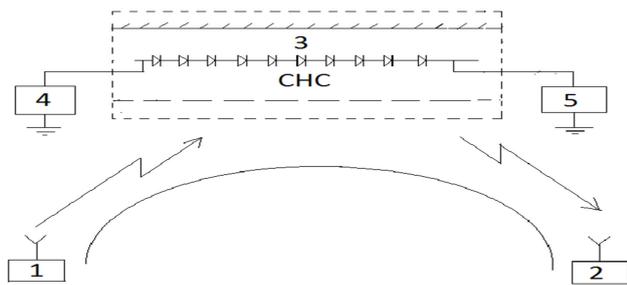


Рис. 1. Система реализации способа радиосвязи на основе пассивной или активной СНС отражательного типа  
 Fig. 1. A system for implementing radio communications based on a passive or active SNS of a reflective type

быть задействованы экраны в виде сеток, выполненных из металлических проводников. Этот способ и система его реализации имеют недостатки, состоящие в том, что третий абонент, находящийся вблизи неоднородности, без традиционного приемопередатчика не может принимать участия в процессе обмена информацией. Для устранения этих недостатков может быть избран способ радиосвязи (рис. 1), отличающийся от предыдущего тем, что в качестве искусственной неоднородности используется пассивная или активная управляемая слоистая неоднородная структура (СНС) отражательного типа.

Выбор параметров управляемых слоев (УС) и неуправляемых слоев (НС) (толщин диэлектрических слоев и проводимостей решеток проводящих элементов) таких СНС осуществляется по критерию одновременного обеспечения демодуляции падающего сигнала и модуляции отраженного сигнала [7–16]. Этот способ радиосвязи является радиотехническим аналогом известного способа получения информации человеком об окружающем мире в отраженном и преобразованном естественном (солнечном, лунном) или искусственном свете (в оптическом диапазоне) [10].

## 2. Варианты построения управляемых слоистых неоднородных структур для предлагаемых курсо-глиссадных систем

На основе этого способа радиосвязи может быть построена КГС, практически свободная от известных недостатков. Предлагаемая КГС может содержать сверхвысокочастотную (СВЧ) антенну (например, линзу Лüneберга для формирования широкой диаграммы обратного рассеяния – ДОР), на полусфере которой расположена управляемая СНС, и плоскую управляемую СНС для формирования узкой ДОР. СНС состоит из управляемого слоя (УС-решетки с нелинейными элементами)

и неуправляемых слоев (НС – диэлектрических слоев, неуправляемых решеток и проводящего экрана). Микрофон, наушники и источник низкочастотного (НЧ) управляющего сигнала подключены к УС. КГС размещается в радиопрозрачном обтекателе.

Благодаря этому СНС обеспечивает функции антенны, модулятора, демодулятора, согласующего устройства и фильтра. Первый и второй абоненты с традиционными приемопередающими станциями (1, 2) расположены в одном и том же полупространстве относительно плоскости неоднородности. Третий абонент находится в месте расположения СНС (3) и имеет возможность с ее помощью принимать, демодулировать сигналы первого и второго абонентов и регистрировать с помощью устройства (4). Одновременно переотраженный сигнал первого абонента может быть с помощью СНС промодулирован информационным сигналом третьего абонента с некоторой поднесущей частотой, который формируется с помощью устройства (5), и передан второму абоненту. Переотраженный сигнал второго абонента может быть с помощью СНС промодулирован информационным сигналом третьего абонента и передан первому абоненту.

Для построения и функционирования предлагаемой КГС функции первого и второго абонентов совмещаются на ЛА. Это бортовая РЛС и летчик. Третий абонент – это диспетчер аэродрома с КГС. Управляемые СНС могут быть использованы совместно с различными другими апертурными антеннами (антенной Кассэгрена, антенной Грегори, уголковыми отражателями, волноводно-рупорными решетками и т. д.). На рис. 2 показаны возможные варианты совместного использования апертурных антенн и СНС.

Благодаря этому переотражение обеспечивается в заданном диапазоне углов (в заданном секторе пространства, определяемом шириной моностатической диаграммы обратного рассеяния – ДОР) только в сторону ЛА, заходящего на посадку. При этом сохраняется равносигнальная зона (линия равной интенсивности). Поэтому имеется возможность захода на посадку в широком секторе углов. Отсутствуют отражения сигналов КГС, возникающих из-за присутствия разных объектов в ее области действия, например домов, ангаров. Находящиеся вблизи радиомаяков самолеты и автомобили практически не вызывают искажения сигналов. Это связано с малой шириной бистатической ДОР. Таким образом, третий абонент, не имеющий источника несущего сигнала,

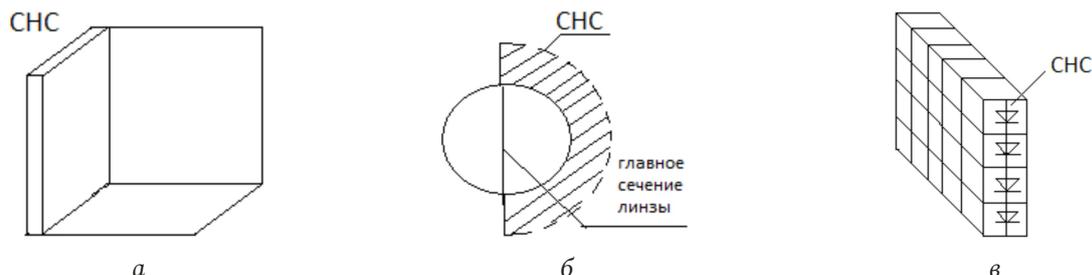


Рис. 2. Варианты совместного использования СНС с угольным отражателем (а), линзой Лунберга (б) и волноводной решеткой (в)  
 Fig. 2. Options for joint use of SNS with a corner reflector (a), a Luneberg lens (b) and a waveguide grating (c)

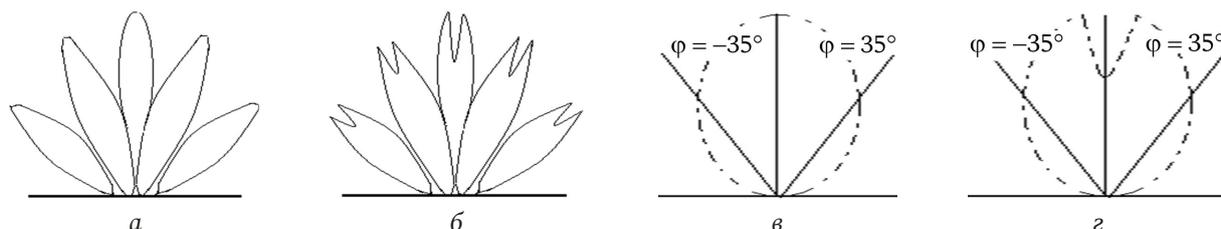


Рис. 3. Типичные моностатические (при совпадении углов падения волны от ЛА и углов измерения отраженного сигнала) ДОР линзы Лунберга при периоде решетки УС, большем длины волны (а, б), при периоде решетки УС, меньшем половины длины волны (в, г), синфазном питании диодов в соседних столбцах решетки УС (а, в) и противофазном питании (б, г)  
 Fig. 3. Typical monostatic (when the angles of incidence of the wave from the aircraft and the angles of measurement of the reflected signal coincide) DOR of the Luneberg lens with the US grating period greater than the wavelength (a, b), with the US grating period less than half the wavelength (c, d), common-mode power supply of diodes in adjacent columns of the US array (a, c) and anti-phase power supply (b, d)

оказывается полноправным участником процесса обмена информацией и с первым, и со вторым абонентами. Достоинствами такого способа являются повышенная (по сравнению с обычным способом радиосвязи) скрытность передачи информации третьим абонентом и помехозащищенность, достигаемая за счет пространственной и частотной селекции полезного сигнала и помехи. Применение управляемых СНС с различными обратно направленными отражателями позволяет перенести спектр несущей частоты в ту область спектра, где фоновый сигнал отсутствует, и, следовательно, получить четкое изображение на экране РЛС. Перенос спектра частот в необходимую область можно осуществить, например, при помощи  $\pi$ -манипуляции фазы отраженного сигнала. В качестве несущего сигнала третьим абонентом используется отраженный от неоднородности сигнал первого и второго абонента, следствием чего является осуществление радиосвязи между тремя абонентами на несущих сигналах первого и второго абонентов.

В результате формируются новые перспективные радиотехнические системы – системы, состоящие из совокупности обыкновенных обратно направленных отражателей или типовых антенн и СНС. Такие системы переотражают в заданном направлении (на источник падающего сигнала) и с заданной шириной моностатической и бистатической ДОР) высокочастотный сигнал (в общем случае – на

гармониках падающего сигнала), амплитуда и фаза которого оказываются модулированными по заданному закону. В этом режиме к управляемому слою подключен источник первичного сигнала. Если параметры падающего сигнала промодулированы информационным сигналом, то при подключении к управляемому слою наушников возможна демодуляция падающего сигнала. Оба режима могут функционировать совместно. Для этого необходима оптимизация параметров управляемых слоев по выбранному критерию. В случае использования угольных отражателей (рис. 2, а) СНС отражательного типа размещается на одной или нескольких гранях. При использовании линзы Лунберга СНС отражательного типа располагается на определенной части сферы (рис. 2, б). При использовании волноводно-рупорных решеток СНС отражательного или смешанного типа включается внутри каждого волновода (рис. 2, в). При этом ширина моностатической ДОР составляет примерно  $\theta = \pm(35^\circ \div 40^\circ)$ , то есть примерно 70–80 градусов. Нормированные моностатические ДОР на основной (первой) гармонике падающего сигнала приведены на рис. 3.

Ширина  $\theta$  бистатической ДОР определяется поперечным размером антенны (диаметром линзы  $D$ ) и длиной облучающей волны  $\lambda$  ( $\theta = \lambda D^{-1} 57,3^\circ$ ). Например, при длине волны  $\lambda = 3$  см,  $D = 40$  см ширина бистатической ДОР составляет примерно  $\theta = 4,3^\circ$ . Экспериментальные бистатические ДОР

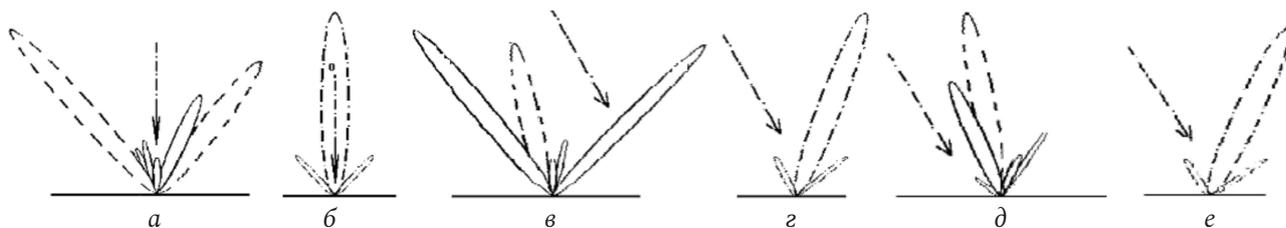


Рис. 4. Типичные бистатические (при разное углов падения волны от ЛА и углов измерения отраженного сигнала) ДОР на плоскую СНС при синфазном питании диодов в соседних столбцах решетки УС  
 Fig. 4. Typical bistatic (when the angles of incidence of the wave from the aircraft and the angles of measurement of the reflected signal are separated) DOR to a flat SNS with in-phase power supply of diodes in adjacent columns of the US array

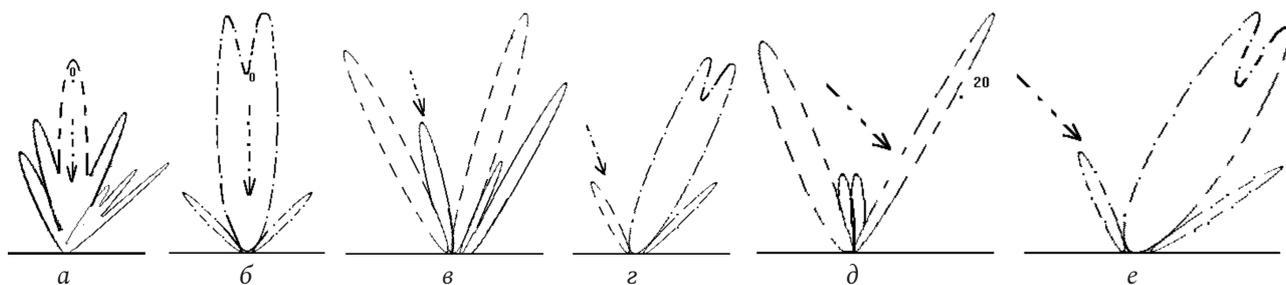


Рис. 5. Типичные бистатические (при разное углов падения волны от ЛА и углов измерения отраженного сигнала) ДОР на плоскую СНС при противофазном питании диодов в соседних столбцах решетки УС  
 Fig. 5. Typical bistatic (when the angles of incidence of the wave from the aircraft and the angles of measurement of the reflected signal are separated) DOR to a flat SNS with anti-phase power supply of diodes in adjacent columns of the US array

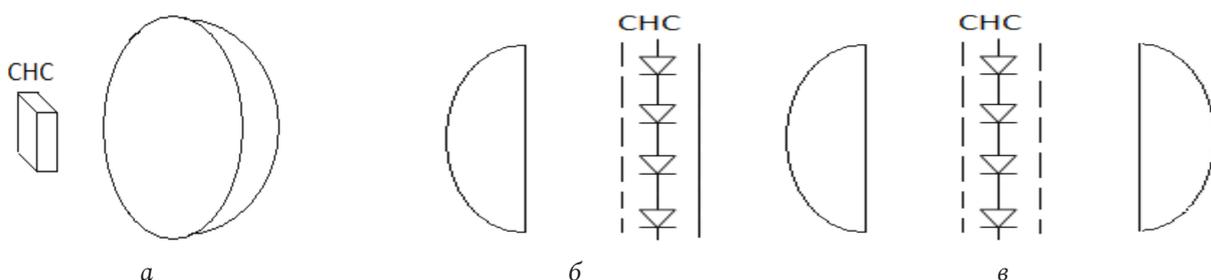


Рис. 6. Варианты совместного использования СНС отражательного типа с зеркальной антенной (а), бифокальной линзой (б) и СНС смешанного типа с двумя бифокальными линзами (в)  
 Fig. 6. Options for joint use of a reflective type SNS with a reflector antenna (a), a bifocal lens (b) and a mixed type SNS with two bifocal lenses (c)

плоской СНС с периодом решетки УС, меньшим половины длины волны, приведены на рис. 4–5 [7–10; 16]. На рис. 4 нормированные ДОР соответствуют углам падения волны  $0^\circ$ ,  $22^\circ$  и  $30^\circ$ . Принятые обозначения соответствуют нормированным ДОР на 1-й (---) и 2-й гармониках падающей электромагнитной волны, причем (---) – главный максимум 2-й гармоники и (-----) – добавочный максимум 2-й гармоники. Пусть нелинейные элементы (диоды) располагаются с периодом в половину длины волны. Тогда количество диодов на полусфере  $\approx 1110$  шт. Количество диодов на плоской СНС  $\approx 710$  шт.

На рис. 5 ДОР соответствуют углам падения  $0^\circ$ ,  $21^\circ$  и  $29^\circ$ .

При увеличении периода решетки УС пропорционально уменьшается количество диодов. ДОР становится многолучевой. При противофазном

питании диодов в соседних столбцах решетки УС в каждом лепестке ДОР появляется провал (рис. 5). В случае использования параболического зеркала СНС отражательного типа помещается в фокусе (рис. 6, а). Размер фокусного пятна составляет примерно  $1,5\lambda \times 1,5\lambda$ . Количество диодов уменьшается до 9 шт. В составе бифокальной линзы СНС отражательного типа включается в фокусе (рис. 6, б). При использовании двух бифокальных линз СНС смешанного типа включается в фокусе между линзами (рис. 6, в). Независимо от конструктивных особенностей и использования типов антенн или отражателей основным (базовым) элементом (узлом) в каждом типе описанных радиотехнических систем является СНС [7–16]. Независимо от выбора структуры СНС основным принципом их построения становится определение значений параметров неуправляемых и управляемых слоев, при

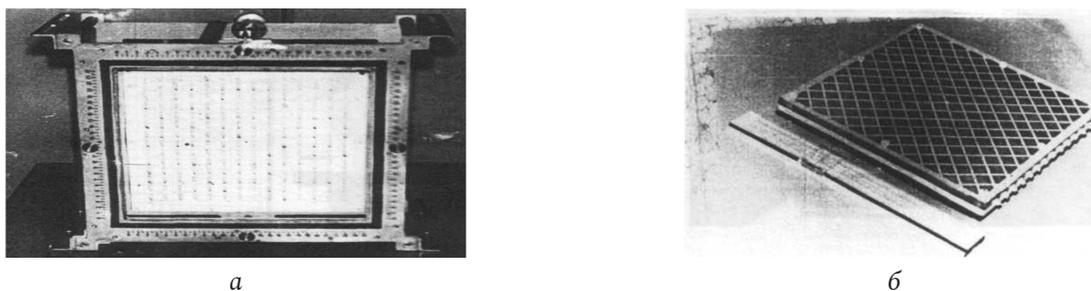


Рис. 7. Макеты КГС в виде плоской СНС смешанного типа с перестраиваемыми толщинами слоев (а) и плоской СНС отражательного типа с постоянными (неперестраиваемыми) параметрами (б)  
Fig. 7. Models of CGS in the form of a flat mixed-type SSS with tunable layer thicknesses (a) and a flat reflective-type SSS with constant (non-tunable) parameters (b)

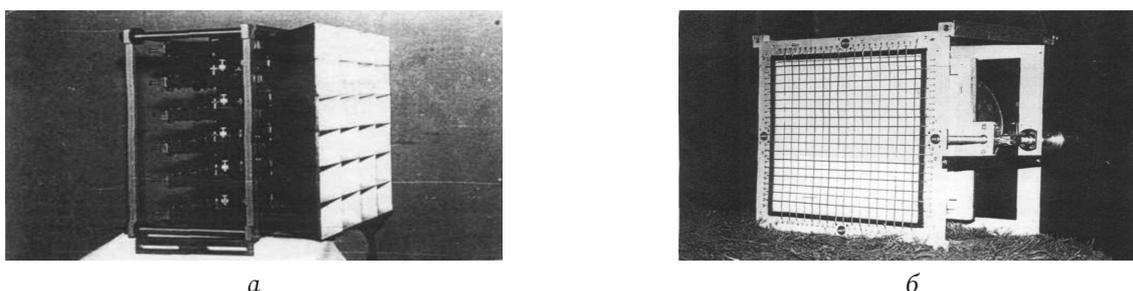


Рис. 8. Макеты КГС в виде волноводно-рупорной решетки с использованием СНС внутри волноводов (а) и с использованием СНС отражательного типа и параболического рефлектора (б)  
Fig. 8. Models of CGS in the form of a waveguide-horn grating using SNS inside waveguides (a) and using SNS of a reflective type and a parabolic reflector (b)

которых обеспечивается возможность реализации с их помощью предлагаемых способов радиосвязи, основанных на комплексировании функций многих радиотехнических устройств в одном [7–10].

Одним из главных недостатков известных подсистем навигации и посадки можно выделить высокую мощность потребляемой энергии питания, а следовательно, невозможность применения в отдельных районах в экстремальных ситуациях, в условиях наличия помех и режима молчания. Возможность использования современных РЛС летательных аппаратов ограничена погрешностью привязки к определенной местности, т. к. порой значительные фоновые помехи от второстепенных элементов земной и надводной поверхности затрудняют или приводят к невозможности выделения места посадки.

Предлагаемые новые радиотехнические системы могут быть использованы для решения и других задач. Варианты размещения и количество размещаемых отражателей выбираются из условий решаемых задач. К числу таких задач можно отнести определение точек земных координат; определение точки десантирования личного состава и выброски грузов; определение границ взлетно-посадочной полосы, ее заданного посадочного курса; применение в качестве индиви-

дуальных средств спасения экипажей морских и воздушных судов; имитацию движения техники с заданной скоростью; создание помех.

### 3. Экспериментальные исследования управляемых слоистых неоднородных структур как основных узлов предлагаемых курсо-глиссадных систем

Макеты управляемых СНС, содержащие различное количество управляемых и неуправляемых слоев, исследовались на предмет определения возможности одновременного или последовательного обеспечения функций усилителей и генераторов, модуляторов и демодуляторов, преобразователей и умножителей частоты, согласующих устройств и фильтров (рис. 7–13) [7–16]. Получены экспериментальные результаты, показывающие возможность однократной и двойной амплитудной и фазовой модуляции проходного или отраженного сигнала, амплитудной и фазовой демодуляции падающего сигнала с помощью этих макетов без изменения параметров неуправляемых слоев при переходе от режима модуляции к режиму демодуляции. Теоретические и экспериментальные результаты (характеристики и параметры) удовлетворительно совпадают.

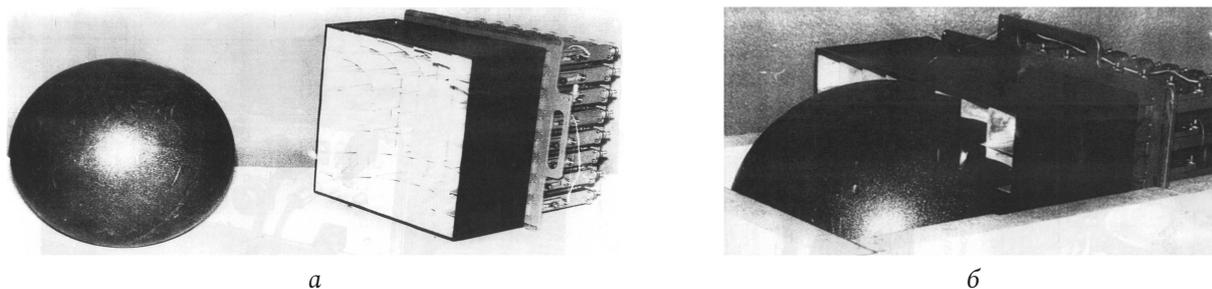
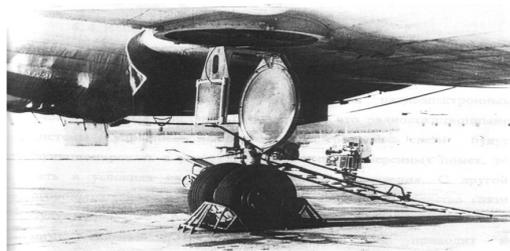
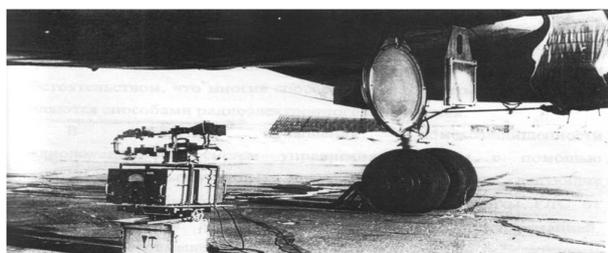


Рис. 9. Макет КГС на основе волноводно-рупорной решетки и линзы Лунеберга в разобранном (а) и собранном виде (б)  
 Fig. 9. Model of the CGS based on a waveguide-horn grating and a Luneberg lens, disassembled (a) and assembled (b)



а



б

Рис. 10. Макет КГС на основе пассивной СНС отражательного типа и бифокальной линзы на борту самолета Ил-14 (а) и установка для измерения модуля и фазы коэффициента отражения макета управляющего устройства СВЧ на основе пассивной СНС отражательного типа и бифокальной линзы в двух состояниях управляемых элементов под бортом самолета Ил-14 (б)  
 Fig. 10. A model of the CGS based on a passive reflective type SNS and a bifocal lens on board an IL-14 aircraft (a) and an installation for measuring the modulus and phase of the reflection coefficient of a microwave control device layout based on a passive reflective type SNS and a bifocal lens in two states of controlled elements under board of the IL-14 aircraft (b)

На рис. 12 показаны типичные зависимости модулей и фаз коэффициентов отражения СНС от частоты в двух состояниях УС, определяемых двумя уровнями управляющего сигнала, в режиме обеспечения  $\pi$ -манипуляции фазы отраженного сигнала (разность фаз  $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 180^\circ$ ; отношение модулей коэффициентов отражения СНС  $m = H_2 \times H_1^{-1} = 1$ ) на средней частоте  $f_0 = 830$  МГц.

Рабочая полоса частот СНС зависит от количества  $N$  оптимизируемых параметров НС. Пусть  $n$  – количество параметров, оптимальных по критерию обеспечения заданных значений  $m$  и  $\Delta\varphi$  на средней частоте [10]. На рис. 13 показаны типичные зависимости относительной рабочей полосы частот СНС от количества оптимизируемых

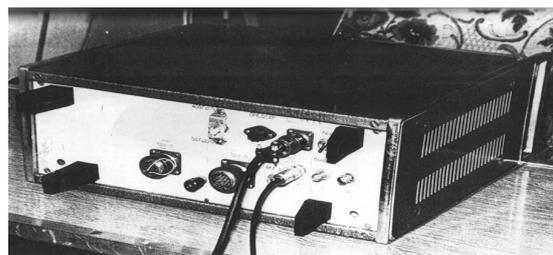
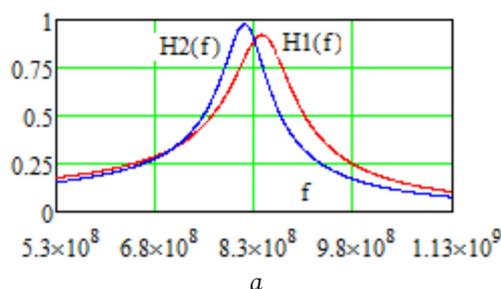
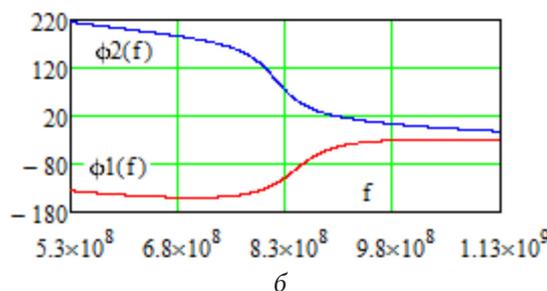


Рис. 11. Внешний вид генератора низкочастотных управляющих сигналов  
 Fig. 11. Appearance of the generator of low-frequency control signals



а



б

Рис. 12. Примеры зависимостей модулей (а) и фаз (б) коэффициентов отражения СНС от частоты в двух состояниях УС, определяемых двумя уровнями управляющего сигнала  
 Fig. 12. Examples of the dependences of the modules (a) and phases (b) of the SNS reflection coefficients on the frequency in two states of the US, determined by two levels of the control signal

параметров НС при двух вариантах ограничений на  $m$  и  $\Delta\varphi$ .

### Заключение

Анализ известной литературы [1–16] показывает, что все возможности, имеющиеся в известных КГС, сохраняются в предлагаемой КГС и основаны на использовании СНС. Многие недостатки,



Рис. 13. Зависимость широкополосности СНС с одним пассивным управляемым слоем на основе параметрических диодов ПД и p-i-n-диодов, содержащих со стороны свободного пространства два диэлектрических слоя (1) и один диэлектрический слой и неуправляемую решетку (2), от количества оптимизируемых параметров при ограничениях  $(0,5 \leq m \leq 1,0; 160^\circ \leq \Delta\varphi \leq 200^\circ)$  (3) и  $(0,5 \leq m \leq 1,0; 80^\circ \leq \Delta\varphi \leq 100^\circ)$  (4)

Fig. 13. Dependence of the bandwidth of SNS with one passive controllable layer based on parametric PD diodes and pin diodes containing two dielectric layers (1) and one dielectric layer and an uncontrolled grating (2) on the side of free space on the number of optimized parameters under restrictions  $(0,5 \leq m \leq 1,0; 160^\circ \leq \Delta\varphi \leq 200^\circ)$  (3) and  $(0,5 \leq m \leq 1,0; 80^\circ \leq \Delta\varphi \leq 100^\circ)$  (4)

имеющиеся в известных КГС, в предлагаемой КГС практически отсутствуют. Предлагаемая КГС может быть использована для решения многих задач, которые с помощью известной КГС решить нельзя. К таким задачам относятся имитация движущихся и стационарных объектов вооружения и

военной техники; скрытная передача информации в условиях отсутствия собственного источника несущего сигнала; радиоэлектронное подавление систем радиосвязи и управления, радиолокационных систем управления оружием вероятного противника.

### Список литературы

1. ГОСТ 26121-84. Системы инструментального захода самолетов на посадку радиомаячные. Термины и определения. М.: Издание стандартов, 1985. 8 с.
2. Большая Советская Энциклопедия. 2. М., 1958. Т. 51. 460 с.
3. Сарайский Ю.Н., Алешков И.И. Аэронавигация. Т. 1. Основы навигации и применение геотехнических средств. СПб.: СПбГУГА, 2010. 302 с.
4. Лобанов М.М. Развитие советской радиолокационной техники. М.: Воениздат, 1982. 239 с.
5. Никитин Д.А. Курсо-глиссадные системы посадки в гражданской авиации СССР // Научный вестник МГТУ ГА. 2006. № 101. С. 34–38.
6. Наземное радиоборудование системы посадки ILS 734 // НПО «РТС». Авиационная радионавигация. Справочник. М.: Транспорт, 1990. 264 с.
7. Головков А.А. Комплексированные радиоэлектронные устройства и их роль в традиционной и перспективной технике радиосвязи // Всероссийская конференция по повышению помехоустойчивости систем технических средств охраны: сб. докладов. Воронеж; М.: Радио и связь, 1995. С. 109–110.
8. Головков А.А. Комплексированные радиоэлектронные устройства. М.: Радио и связь, 1996. 128 с.
9. Головков А.А. Теория синтеза комплексированных радиоэлектронных устройств и основные направления их использования // Всероссийская конференция по основным направлениям развития средств и систем радиосвязи. Воронеж, 1996. Т. 1. С. 252–264.
10. Головков А.А. Синтез комплексированных радиоэлектронных устройств с управляемыми характеристиками и их использование в радиотехнических системах: дис. ... д-ра. тех. наук. М.: Моск. энерг. ин-т (тех. ун-т), 1997. 386 с.
11. Способ радиосвязи и системы его реализации / А.А. Головков [и др.]. Патент 2271065 РФ. № 2004117675; заявл. 09.06.2004; опубл. 27.02.2006. Бюл. 6.
12. Головков А.А., Волобуев А.Г. Алгоритмы синтеза и анализа активных многофункциональных плоскостойких сред отражательного и смешанного типов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2003. Т. 6, № 2. С. 39–43.
13. Головков А.А., Вербицкий А.В. Управляемая неоднородность. Патент 2269188 РФ. № 2004122350; заявл. 20.07.2004; опубл. 27.01.2006. Бюл. 3.
14. Головков А.А., Вербицкий А.В. Управляемая неоднородность. Патент 2277295 РФ. № 2004132659; заявл. 09.11.2004; опубл. 27.05.2006. Бюл. 15.
15. Головков А.А., Головков В.А. Параметрический синтез радиотехнических устройств и систем. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2018. 588 с.
16. Головков А.А., Михайлов Г.Д. Синтез плоскостойкой среды, усиливающей отраженную электромагнитную волну // Радиотехника и электроника. 1984. №3. С. 579–585.

### References

1. GOST 26121-84. Radio Beacon Systems for Instrumental Approach of Aircraft. Terms and Definitions. Moscow: Izdanie standartov, 1985, 8 p. (In Russ.)

2. Great Soviet Encyclopedia. 2. Moscow, 1958. V. 51. 460 p.
3. Sarajsky Yu.N., Aleshkov I.I. *Air Navigation. Vol. 1. Basics of Navigation and the use of Geotechnical Tools*. Saint Petersburg: SPbGUGA, 2010, 302 p. (In Russ.)
4. Lobanov M.M. *Development of Soviet Radar Technology*. Moscow: Voenizdat, 1982, 239 p. (In Russ.)
5. Nikitin D.A. Course-glide path landing systems in civil aviation of the USSR. *Nauchnyi vestnik MGTU GA*, 2006, no. 101, pp. 34–38. (In Russ.)
6. *Ground Radio Equipment of the Landing System ILS 734*. NPO «RTS». Aviation Radio Navigation. Directory. Moscow: Transport, 1990, 264 p. (In Russ.)
7. Golovkov A.A. Integrated radio electronic devices and their role in traditional and advanced radio communication technology. *Vserossijskoj konferentsii po povysheniju pomehoustojchivosti sistem tehniceskikh sredstv ohrany: sb. dokladov*. Voronezh; M.: Radio i svjaz', 1995, pp. 109–110. (In Russ.)
8. Golovkov A.A. *Integrated Radio Electronic Devices*. Moscow: Radio i svjaz', 1996, 128 p. (In Russ.)
9. Golovkov A.A. Theory of synthesis of complex radio-electronic devices and the main directions of their use. *Vserossijskaja konferentsija po osnovnym napravlenijam razvitiya sredstv i sistem radiosvjazi*. Voronezh, 1996, vol. 1, pp. 252–264. (In Russ.)
10. Golovkov A.A. Synthesis of Integrated Radio Electronic Devices with Controlled Characteristics and their Use in Radio Engineering Systems. Diss. ... Doc. Tech. Sciences. Moscow: Mosk. energ. in-t (tehn. un-t), 1997, 386 p. (In Russ.)
11. Golovkov A.A. et al. Method of radio communication and systems for its implementation. Patent 2271065 RF. No. 2004117675; dec. 09.06.2004; publ. 27.02.2006. Bull. 6. (In Russ.)
12. Golovkov A.A., Volobuev A.G. Algorithms for the synthesis and analysis of active multifunctional flat-layered media of reflective and mixed types. *Physics of Wave Processes and Radio Systems*, 2003, vol. 6, no. 2, pp. 39–43. (In Russ.)
13. Golovkov A.A., Verbitsky A.V. Controlled inhomogeneity. Patent 2269188 RF. No. 2004122350; dec. 20.07.2004; publ. 27.01.2006. Bull. 3. (In Russ.)
14. Golovkov A.A., Verbitsky A.V. Controlled inhomogeneity. Patent 2277295 RF. No. 2004132659; dec. 09.11.2004; publ. 27.05.2006. Bull. 15. (In Russ.)
15. Golovkov A.A., Golovkov V.A. *Parametric Synthesis of Radio Engineering Devices and Systems*. Voronezh: VUNTs VVS «VVA», 2018, 588 p. (In Russ.)
16. Golovkov A.A., Mihajlov G.D. Synthesis of a flat-layered medium that amplifies the reflected electromagnetic wave. *Radiotekhnika i elektronika*, 1984, no. 3, pp. 579–585. (In Russ.)

---

## Physics of Wave Processes and Radio Systems 2022, vol. 25, no. 1, pp. 27–35

DOI 10.18469/1810-3189.2022.25.1.27-35

Received 17 July 2021  
Accepted 20 August 2021

### Principles of construction and basic characteristics of perspective noiseproof course-glide system

*Alexander A. Golovkov, Vladimir A. Golovkov*

Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy (Voronezh)  
the Ministry of Defence of the Russian Federation  
54a, Staryh Bolshevikov Street,  
Voronezh, 394064, Russia

**Abstract – Introduction:** based on the analysis of the known literature, it is shown that modern course-glide systems have disadvantages associated with the presence of carrier signal generators in them, the lack of frequency and spatial selection of the signal and interference. **The purpose of the work:** to develop the principles of constructing a promising noise-resistant course-glide system based on the joint use of inversely directed reflectors, aperture antennas and electrodynamic controlled layered inhomogeneous structures. The controlled layers are periodic lattices of conducting elements with nonlinear elements included in their discontinuities. Uncontrolled layers are lossless dielectric layers and periodic lattices of conducting elements. **Materials and methods:** algorithms for parametric synthesis of controlled and uncontrolled layers of electrodynamic inhomogeneous structures, experimental methods for analyzing monostatic and bistatic backscattering diagrams, experimental methods for determining the frequency characteristics of electrodynamic inhomogeneous structures in various states of controlled layers. **Results:** the possibility of designing a promising course-glide system with specified characteristics that provide a new method of radio communication without using its own carrier signal generator is shown. **Conclusion:** the proposed course-glide system can be used to solve many problems that cannot be solved with the help of a known course-glide system. Such tasks include imitation of moving and stationary objects of weapons and military equipment; covert transmission of information in the absence of its own carrier signal source; radio-electronic suppression of radio communication and control systems, radar control systems for weapons of a likely enemy.

**Keywords** – course-glide system; operated in uncontrollable layers of electrodynamic non-uniform structure.

---

## Информация об авторах

**Головков Александр Афанасьевич**, 1953 г. р., доктор технических наук, профессор кафедры авиационных систем и комплексов радионавигации и радиосвязи ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Россия.

*Область научных интересов:* способы и средства формирования, извлечения и обработки сигналов, приема, передачи, защиты и разрушения информации.

*E-mail:* vaiu@mil.ru

**Головков Владимир Александрович**, 1983 г. р., младший научный сотрудник отдела ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Россия.

*Область научных интересов:* способы и средства формирования и обработки сигналов, приема и передачи информации.

*E-mail:* valgol2595@gmail.com

## Information about the Authors

**Alexander A. Golovkov**, born in 1953, Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of Aviation Systems and Radio Navigation and Radio Communication Complexes, Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation, Voronezh, Russia.

*Research interests:* ways and means of generating, extracting and processing signals, receiving, transmitting, protecting and destroying information.

*E-mail:* vaiu@mil.ru

**Vladimir A. Golovkov**, born in 1983, junior researcher of the department, Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation, Voronezh, Russia.

*Research interests:* ways and means of generating and processing signals, receiving and transmitting information.

*E-mail:* valgol2595@gmail.com

**Неганов, В.А.**

**Современная теория и практические применения антенн:** монография / В.А. Неганов, Д.П. Табаков, Г.П. Яровой; предисл. акад. Ю.В. Гуляева; под ред. В.А. Неганова. – М.: Радиотехника, 2009. – 720 с.

Неганов В.А., Табаков Д.П., Яровой Г.П.

ISBN 978-5-88070-222-0

УДК 621.396.67

ББК 32.845

Современная теория  
и практические применения  
антенн

Издательство «Радиотехника»  
Москва, 2009

Рассмотрены основные разделы теории и техники антенн. Освещены вопросы расчета и построения различных типов антенн (от вибраторных до рупорных и антенных решеток, включая фазированные). Основное внимание уделено антеннам СВЧ и расчетам их электромагнитных полей в ближней зоне, т. е. вопросам электромагнитной совместимости.

Принципиальное отличие книги от известных заключается в последовательном применении метода физической регуляризации (самосогласованного метода) к расчету электромагнитного поля антенн, позволяющего осуществлять непрерывный переход с излучающей поверхности антенны к пространству вне ее. С помощью самосогласованного метода получены новые результаты по теории антенн: установлены связь между поверхностной плотностью тока на вибраторной антенне и напряженностью электромагнитного поля, однонаправленный режим излучения для кольцевой (рамочной антенны), режимы стоячих и бегущих волн в цилиндрической спиральной антенне, входное сопротивление практически для всех типов антенн. Теоретический материал подкреплен примерами применения многолучевых антенн.

*Предназначено для разработчиков антенно-фидерных устройств, аспирантов и докторантов, занимающихся вопросами проектирования антенных систем различного назначения, студентов радиотехнических специальностей высших учебных заведений.*