

УДК 53.088.6:550.388, 621.396

**Л. Я. ЕМЕЛЬЯНОВ, А. В. БОГОМАЗ, Б. Р. БРАВИЧЕВ****УСТРОЙСТВО ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАДАРА НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ**

З метою контролю вимірювання параметрів іоносфери методом некогерентного розсіяння (НР) запропоновано пристрій формування сигналів для тестування радіоприймальних та оброблювальних систем радара НР. Вимоги до нього вироблені на основі аналізу характеристик НР сигналу. Пристрій дозволяє оперативно контролювати основні параметри радіотехнічних систем радара, точність визначення параметрів іоносфери, таких як температури іонів і електронів, швидкість руху іоносферної плазми, а також тестувати і оптимізувати алгоритми та програми обробки шумоподібних сигналів.

**Ключові слова:** радар некогерентного розсіяння, доплерівський зсув, обробка сигналу, спектр випадкового сигналу, пристрій контролю, синтезатор сигналу, швидкість руху плазми.

С целью контроля измерения параметров ионосферы методом некогерентного рассеяния (НР) предложено устройство формирования сигналов для тестирования приемных и обрабатывающих систем радара НР. Требования к нему выработаны на основе анализа характеристик НР сигнала. Устройство позволяет оперативно контролировать основные параметры радиотехнических систем радара и точность определения параметров ионосферы, таких как температуры ионов и электронов, скорость движения ионосферной плазмы, а также тестировать и оптимизировать алгоритмы и программы обработки шумоподобных сигналов.

**Ключевые слова:** радар некогерентного рассеяния, доплеровское смещение, обработка сигнала, спектр случайного сигнала, устройство контроля, синтезатор сигнала, скорость движения плазмы.

The signal generation device for testing radio receiving and processing systems of the incoherent scatter (IS) radar is proposed to check the ionosphere parameters measurements by IS technique. Requirements to it were developed based on analysis of the characteristics of the IS signal. The device consists of a generator of the signal spectrum in the low frequency range on the basis of PC and synthesizer of the monitoring signals. It allows to synthesize continuous or radio pulse pilot signal of several types: harmonic signal with specified frequency shift relative to the work radar frequency, noise-like signal with uniform spectrum in selected frequency band, the signal with programmable parameters that is similar to the IS signal for different states of the ionosphere. The device allows to operatively check main parameters of radar systems, monitoring the accuracy of the ionospheric parameters such as the ion and electron temperatures and the ionospheric plasma drift velocity, test and optimize the noise-like signal processing algorithms and programs.

**Keywords:** incoherent scatter radar, Doppler shift, signal processing, the spectrum of a random signal, the testing device, the signal synthesizer, plasma drift velocity.

**Введение.** Измерения параметров ионосферы методом некогерентного рассеяния (НР) являются прецизионными, поскольку полезный НР сигнал, будучи шумоподобным, принимается на фоне космического и аппаратного шума (отношение сигнал/шум составляет величину от нуля до нескольких десятков), параметры сигнала зависят от состояния ионосферы и при ее возмущении могут значительно изменяться [1]. Чрезвычайно прецизионными являются измерения скорости движения ионосферной плазмы, что связано с необходимостью определять доплеровское смещение спектра НР сигнала, на 2–3 порядка меньше ширины этого спектра [2, 3].

Погрешность измерения параметров сигнала, а, значит, и параметров ионосферы, может быть вызвана аппаратными факторами.

Актуальной задачей является обеспечение контроля параметров систем радара НР как при подготовке его к измерениям, так и во время проведения измерений ионосферных параметров, с целью обнаружения источников погрешности, ее исключения или учета при обработке полученной информации.

Часть процедур, связанных с подготовкой радара к измерениям, осуществляется при выключенном радиопередающем устройстве (РПУ), а ряд процедур требует работы РПУ, которое потребляет значительную мощность (импульсная мощность РПУ радара НР Института ионосферы в обычных режимах работы составляет 2 МВт, средняя потребляемая мощность порядка 100 кВт). Поэтому в настоящее

время актуальность также состоит в необходимости оперативного контроля с минимальными затратами времени и электроэнергии.

Вопросы, связанные с контролем радара, рассматривались рядом авторов (см., например, [4–10]). Так, для экспериментальной проверки точности измерения параметров НР сигнала были разработаны способы формирования контрольного сигнала путем пропускания белого шума через линейный фильтр (при этом спектральная плотность мощности сигнала на выходе фильтра определяется его амплитудно-частотной характеристикой) [7, 11, 12], суммирования большого числа независимых гармонических сигналов со случайными начальными фазами [8, 10, 13] и др. [14, 15]

В составе аппаратуры радара НР Института ионосферы имеется устройство контроля, основанное на формировании спектра сигнала, подобного НР сигналу, с помощью генератора белого шума на стабилизаторе и фильтров нижних частот [7]. Контрольный сигнал, вырабатываемый этим устройством на частоте, близкой к несущей частоте радара, подается по эфиру на антенно-фидерное устройство радара. Этот сигнал используется для контроля измерения огибающей корреляционной функции шумоподобного сигнала и связанных с ней параметрами ионосферы – температур ионов и электронов, а также для измерения характеристики разрядников антенного коммутатора. Однако контроль измерения скорости плазмы с помощью

© Л. Я. Емельянов, А. В. Богомаз, Б. Р. Бравичев, 2016

устройства [7] проблематичен в связи с отсутствием когерентного формирования сигнала на несущей частоте и взаимной нестабильностью центральной частоты спектра контрольного сигнала и рабочей частоты приемника. Ограничение функциональности устройства также связано с формированием всего трех сигналов с отличающимися спектрами, что связано с наличием трех фильтров, формирующих спектр. С течением времени характеристики фильтров и, следовательно, спектра контрольного сигнала могут измениться, что скажется на прецизионности контрольных измерений.

Измерение характеристики антенного коммутатора осуществляется также с помощью гармонического сигнала, формируемого другим устройством (генератором опорного напряжения) или промышленным высокостабильным генератором [6, 9]. С помощью этих же устройств контролируется измерение скорости. Однако целесообразно осуществлять контроль по имитируемому доплеровскому смещению не только частоты гармонического сигнала, но и спектра шумоподобного контрольного сигнала.

Целью данной работы является разработка многофункционального устройства формирования сигналов для тестирования приемных и обрабатывающих систем радара НР и контроля точности измерения параметров ионосферы методом НР, в том числе скорости движения ионосферной плазмы.

**Аппаратурные факторы, влияющие на точность определения параметров ионосферы методом НР.** Параметры ионосферы определяются по измеренным корреляционным функциям НР сигнала, которые однозначно связаны с его спектром.

Спектр НР сигнала зависит от ряда параметров ионосферы, таких как температура ионов, температура электронов и ионный состав, которые изменяются с высотой и зависят от уровня солнечной активности, сезона, времени суток, а также состояния космической погоды. При движении ионосферной плазмы спектр НР сигнала сдвигается на величину доплеровского смещения, а при наличии токов в ионосфере появляется его перекос.

В то же время на спектр принимаемого сигнала, а также на другие его параметры, может оказывать влияние ряд аппаратурных факторов. К ним, в частности, относятся:

- нестабильность коэффициента передачи приемного тракта, вызванная, в основном, процессом восстановления разрядников антенного коммутатора антенно-фидерного устройства после окончания излучения зондирующего сигнала;
- неравномерность амплитудно-частотной характеристики приемного тракта;
- наличие собственного шума приемного тракта;
- неточность установки сдвига фазы между двумя сигналами синхронного гетеродина, которые используются для выделения квадратурных составляющих НР сигнала.

Некоторые из этих факторов являются устранимыми, а другие – учитываются в процессе обработки. Описание радара НР, режимов его работы и методик обработки приведены в [3–6, 16–21]

Для контроля аппаратурных факторов, влияющих на точность определения параметров ионосферы, и измерения характеристик, используемых для коррекции данных в процессе обработки, необходимо использовать устройство формирования контрольного сигнала (устройства контроля).

#### **Особые требования к устройству контроля.**

1. Возможность синтеза гармонических и шумоподобных сигналов с задаваемыми параметрами.
2. Прецизионность:
  - высокая точность установки сдвига центральной частоты спектра контрольного сигнала относительно рабочей частоты радара (158 МГц) и промежуточных частот контролируемых трактов – до 0,1–0,5 Гц;
  - формирование сигналов, нестабильность частоты (или центральной частоты спектра) которых относительно рабочей частоты радара НР (158 МГц) не превышает 0,1 Гц;
  - абсолютная симметрия спектра контрольного сигнала относительно его центральной частоты.
3. Удобство в управлении для оперативного контроля.
4. Обеспечение электромагнитной совместимости с системами радара НР.

**Сигналы, формируемые предлагаемым устройством контроля.** Для обеспечения всеобъемлющего контроля радара НР предлагается устройство формирования контрольного сигнала, которое позволяет, благодаря когерентной структуре, проводить контроль измерения параметров ионосферной плазмы, включая скорость ее движения, а также синтезировать контрольный сигнал нескольких видов:

- гармонический сигнал со смещением частоты (задается программно) относительно рабочей частоты радара;
- шумоподобный сигнал с равномерным спектром в избираемой полосе частот;
- сигнал, подобный НР сигналу для различных состояний ионосферы с параметрами, которые задаются программным способом.

Для контроля во время ионосферных измерений, можно использовать радиоимпульсный синтезированный сигнал, который подается в контролируемый тракт на участках радиолокационной развертки дальности, где НР сигнал отсутствует. Для тестирования радара при подготовке к измерениям может использоваться (в зависимости от контролируемого параметра) радиоимпульсный или непрерывный сигнал. Сигналы радара НР во время ионосферных измерений изображены на рис. 1. Типы синтезируемых сигналов приведены на рис. 2.

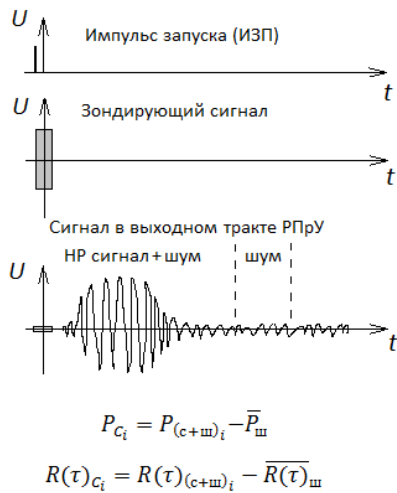


Рис. 1 – Сигналы радара НР во время ионосферных измерений

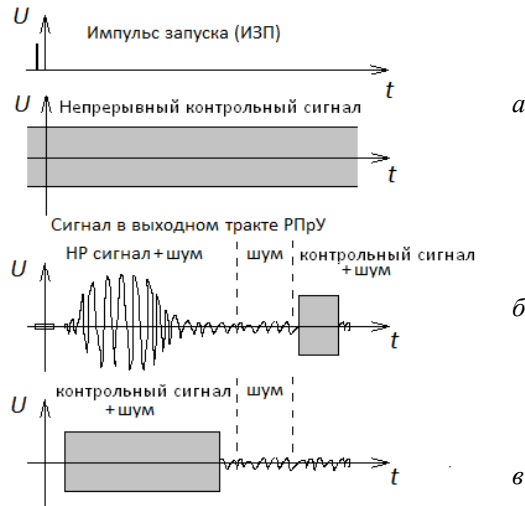


Рис. 2 – Применение контрольного сигнала: а, в – при тестировании аппаратуры, б – во время ионосферных измерений

Здесь ИЗП – импульс запуска передатчика. Период следования ИЗП соответствует длительности радиолокационной развертки (около 40 мс). Статистические параметры НР сигнала (мощность  $P_{Ci}$  и корреляционная функция  $R(\tau)_{Ci}$ ) для каждого конкретного  $i$ -го участка развертки определяются при обработке в виде разности соответствующих

параметров смеси сигнал+шум и усредненных параметров шума, измеренных на участках развертки, где НР сигнал отсутствует (рис. 1).

**Устройство контроля в составе радара НР.**

Функциональная схема работы устройства контроля в составе радара некогерентного рассеяния изображена на рис. 3.

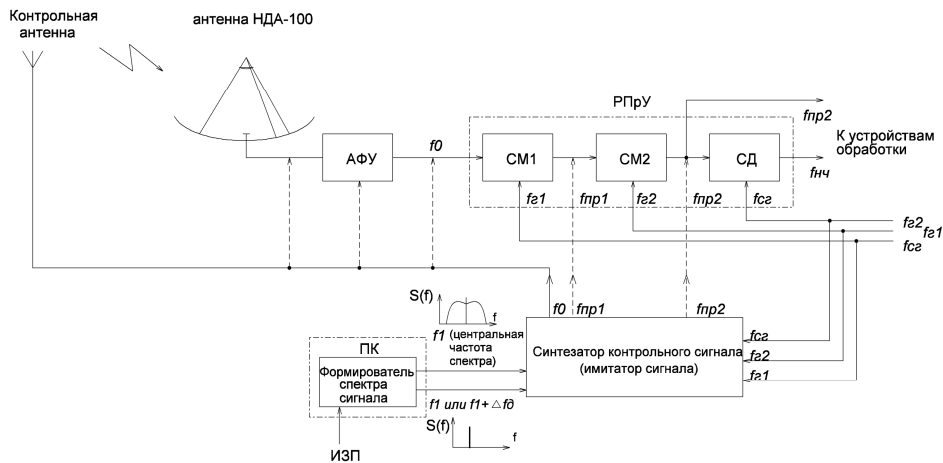


Рис. 3 – Функциональная схема работы устройства контроля в составе радара НР

Здесь показаны структурные элементы в составе радара: антенна, антенно-фидерное устройство (АФУ), радиоприемное устройство (РПрУ) со смесителями (СМ) и синхронным детектором (СД), а также элементы устройства контроля: формирователь спектра сигнала и синтезатор контрольного сигнала (имитатор сигнала).

Формирователь спектра сигнала – это персональный компьютер с оригинальным программным обеспечением и встроенной звуковой картой, которая формирует на выходе ее цифро-аналогового преобразователя сигнал с необходимыми

характеристиками (такими как спектральная плотность мощности и закон распределения).

Синтезатор контрольного сигнала осуществляет перенос спектра сформированного сигнала на рабочую частоту радара  $f_0=158$  МГц, а также на промежуточные (ПЧ) частоты  $f_{np1}$  и  $f_{np2}$ , для контроля всех каскадов приемно-обрабатывающего тракта радара НР.

Для обеспечения когерентности используются сигналы первого, второго и синхронного гетеродинов РПрУ радара с частотами  $f_{r1}$ ,  $f_{r2}$  и  $f_{сг}$  [16, 18]. Доплеровское смещение спектра контрольного

сигнала имитируется с помощью смещения частоты вспомогательного сигнала на величину  $\Delta f_d$ .

Контрольный сигнал может подаваться (непрерывно или на определенном участке радиолокационной развертки) на вход радиоприемного устройства непосредственно, либо с помощью контрольной антенны по эфиру через антенно-фидерный тракт радара, а также в тракты

первой  $f_{пр1}$  и второй  $f_{пр2}$  промежуточных частот РПРУ (см. рис. 2 и 3).

Длительность и задержка начала контрольного сигнала относительно ИЗП устанавливается экспериментатором.

Структурная схема устройства контроля приведена на рис. 4.

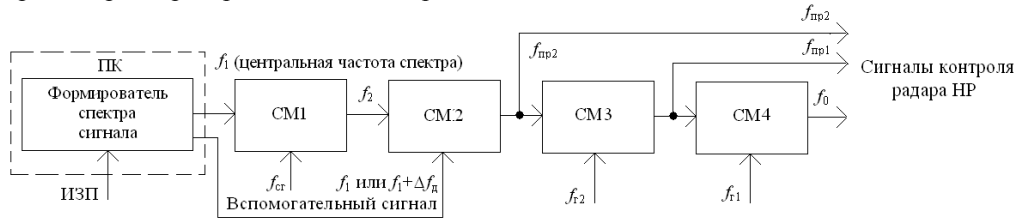


Рис. 4 – Структурная схема устройства контроля

Устройство включает в себя формирователь (на базе ПК) сигнала с центральной частотой спектра  $f_1$  и вспомогательного гармонического сигнала, а также тракт переноса спектра контрольного сигнала на несущую частоту радара  $f_0$ , выполненный на основе четырех смесителей СМ1–СМ4.

**Формирователь спектра сигнала.** Принцип формирования шумоподобного сигнала основан на его синтезе в виде суммы гармонических составляющих со случайными фазами и амплитудами, которые соответствуют рассчитанным по параметрам ионосферы спектрам [13, 22]:

$$x(t) = \sum_{i=1}^N \sqrt{S_i} \sin(2\pi f_i t + \theta_i). \quad (1)$$

Здесь  $S_i$  – значение составляющей энергетического спектра, который задается для синтеза,  $f_i$  – частота;  $\theta_i$  – случайная начальная фаза, равномерно распределенная на интервале  $[-\pi; \pi]$ . При  $S_i = const$  формируется шумоподобный сигнал с равномерным спектром, а при  $N = 1$  – гармонический сигнал.

Структурная схема формирователя спектра представлена на рис. 5.

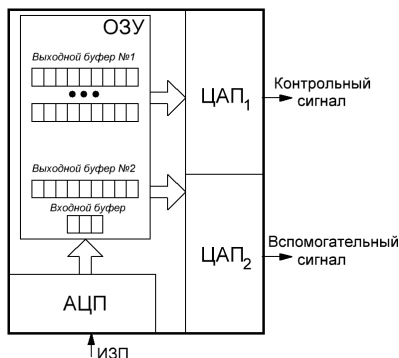


Рис. 5 – Структурная схема формирователя спектра сигнала

Для работы со звуковой платой используется библиотека BASS [23].

Контрольный и вспомогательный сигналы формируются с помощью двух ЦАП, работающих в 16-разрядном режиме.

Сигнал ИЗП, необходимый для синхронизации работы формирователя спектра, поступает на микрофонный вход звуковой платы. Задержка между ИЗП и началом формирования сигнала задается программно.

Алгоритм работы программы-формирователя спектра показан на рис. 6.

Инициализация звуковой платы включает выбор устройства, которое будет производить вывод сигнала (ПК может иметь несколько звуковых плат), установку частоты дискретизации АЦП равной 44100 Гц, что достаточно для формирования сигнала со спектром на центральной частоте 15 кГц и шириной единицы килогерц (таким спектром обладает сигнал, некогерентно рассеянный областью ионосферы, представленной ионами атомарного кислорода), а также выделение памяти для выходных буферов. Выбор режима работы формирователя осуществляется с клавиатуры в текстовом окне. Для работы устройства в режиме реального времени целесообразно применение заранее рассчитанных выборок сигналов, так как вычисления по формуле (1) при большом количестве гармонических составляющих  $N$  являются относительно ресурсоемкими. Как показывает опыт формирования шумоподобных сигналов на ПК с использованием данного способа [10], применение табличных значений функции синуса и уменьшение количества гармоник негативно сказывается на качестве имитации сигнала. Расчет вспомогательного сигнала и запись его мгновенных значений в соответствующий буфер производится однократно. Многократное воспроизведение этого сигнала осуществляется аппаратным способом в сигнальном процессоре звуковой платы. Во время ожидания прихода ИЗП производится заполнение входного буфера звуковой платы одной из реализаций сигнала с заданным спектром. Простейший алгоритм формирования нужной задержки относительно фронта ИЗП может обеспечить ее значение от 5 мс. Для получения меньшей задержки необходимо учитывать информацию о времени поступления ИЗП предыдущей радиолокационной развертки. Вывод контрольного сигнала на звуковую плату осуществляется путем смены рабочего выходного буфера звуковой платы на заранее подготовленный (во время ожидания ИЗП) входной буфер.



Рис. 6 – Алгоритм работы программы-формирователя спектра

**Синтезатор контрольного сигнала.** Для того чтобы перенести спектр синтезируемого сигнала на рабочую частоту радара НР с точностью до выбранного смещения частоты  $\Delta f_d$  и соблности когерентность, используется четырехкратное преобразование частоты (см. рис. 4). От формирователя спектра сигнала на синтезатор поступает гармонический сигнал с частотой  $f_1$ , или сигнал с равномерным спектром с центральной частотой  $f_1$ , или сигнал, подобный НР сигналу, с той же центральной частотой. Также подается вспомогательный сигнал (непрерывный или

радиоимпульсный) с частотой  $f_1$  или (для имитации доплеровского смещения)  $f_1 + \Delta f_d$ . В результате преобразования сигналов в смесителях СМ1 и СМ2 спектр контрольного сигнала переносится на вторую ПЧ  $f_{пр2}$ , в СМ3 – на первую ПЧ  $f_{пр1}$ , а в СМ4 – на несущую частоту  $f_0$ .

**Анализ характеристик НР сигнала для формирования контрольного сигнала.** Для расчета параметров и выбора элементов устройства контроля был проведен анализ характеристик НР сигнала для различного состояния ионосферы, как по модели IRI, так и с использованием реальных данных измерений с помощью радара НР. На рис. 7 приведены в качестве примера спектры НР сигнала для ряда высот в условиях высокой солнечной активности [24].

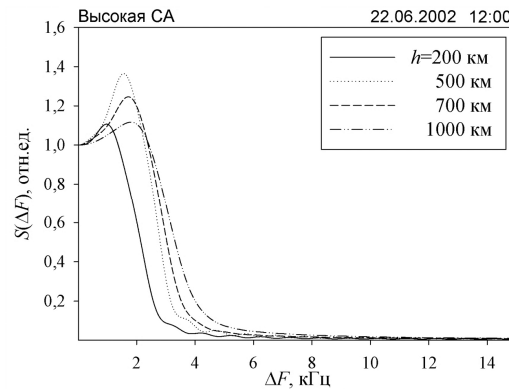


Рис. 7 – Спектры НР сигнала в области низких частот, измеренные с помощью радара НР для ряда высот ионосферы

В результате анализа выяснено, что при имеющейся звуковой карте формирователя спектра целесообразно синтезировать шумоподобный контрольный сигнал с полушириной спектра до 5 кГц. Исходя из этого, выбрана частота вспомогательного сигнала  $f_1 = 15$  кГц.

Величина имитируемого доплеровского смещения  $\Delta f_d$  выбрана в диапазоне  $-500 \dots +500$  Гц, исходя из реальных значений доплеровского смещения спектра НР сигнала для радара Института ионосферы,

**Принцип формирования сигналов устройства контроля** (см. рис. 4) иллюстрируется таблицей 1 и рисунками 8, 9 и 10.

Таблица 1 – Порядок формирования частот в синтезаторе контрольного сигнала

Частоты гетеродинов (от РПрУ)	Частоты синтезируемых сигналов	Примечания
$f_{r1} = 173,0312$ МГц	$f_1 = 15$ кГц (центральная частота спектра)	Гармонический или случайный сигнал с заданным спектром
$f_{r2} = 16$ МГц	$f_1 = 15$ кГц или $f_1 + \Delta f_d = 14,5 \dots 15,5$ кГц	Вспомогательный гармонический сигнал ( $\Delta f_d$ – задаваемое имитируемое доплеровское смещение, $\Delta f_d = -500 \dots 0 \dots 500$ Гц с шагом 1 Гц)
$f_{cr} = 972,4$ кГц	$f_2 = f_1 + f_{cr} = 987,4$ кГц	СМ1
	$f_{пр2} = f_2 - f_1 = 972,4$ кГц	СМ2
	$f_{пр1} = f_{r2} - f_{пр2} = 15,0276$ МГц	СМ3
	$f_0 = f_{r1} - f_{пр1} = 158,0036$ МГц	СМ4

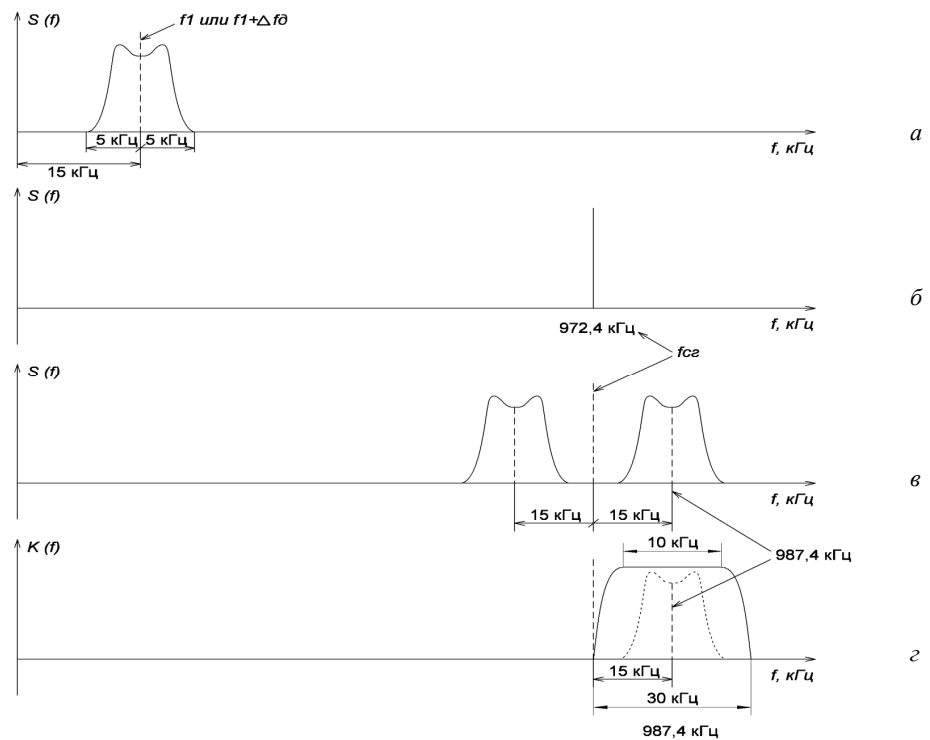


Рис. 8 – Перенос спектра синтезируемого сигнала на вспомогательную частоту  $f_2$ : а – спектр сигнала формирователя спектра; б – спектр сигнала синхронного гетеродина; в – спектр сигнала после смесителя СМ1; г – спектр того же сигнала, выделенного полосовым фильтром на частоте  $f_2$  и коэффициент передачи мощности  $K(f)$  полосового фильтра

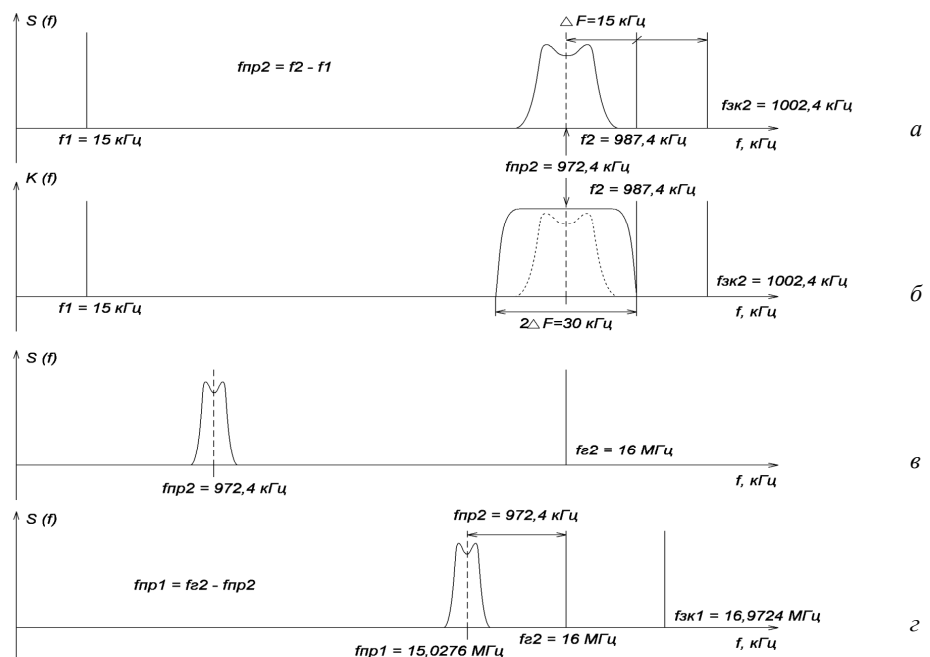


Рис. 9 – Перенос спектра синтезируемого сигнала на промежуточные частоты  $f_{np2}$  и  $f_{np1}$  в смесителях СМ2 (а и б) и СМ3 (в и г), коэффициент передачи мощности  $K(f)$  полосового фильтра на частоте  $f_{np2}$  (б)

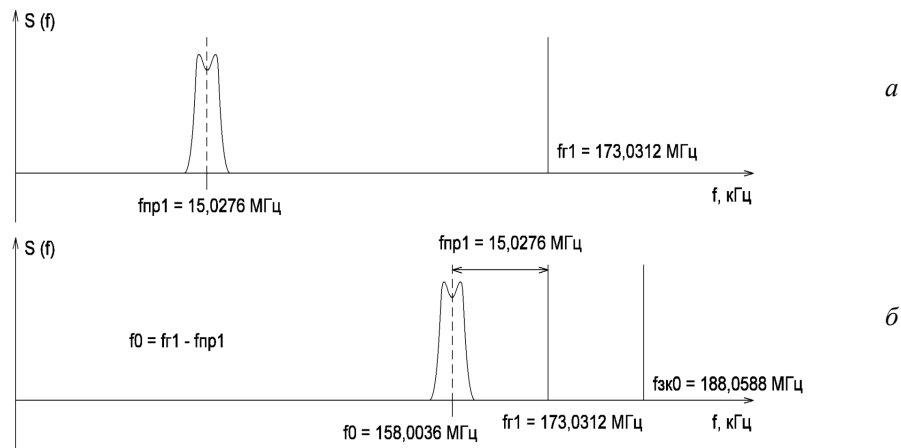


Рис. 10 – Перенос спектра синтезируемого сигнала на несущую частоту  $f_0$  в смесителе СМ4: а – спектры контрольного сигнала на 1-й ПЧ и сигнала 1-го гетеродина; б – спектр сигнала на несущей частоте  $f_0$

**Функциональная схема устройства контроля.**

В результате тщательного анализа условий эксплуатации, параметров контрольного сигнала, которые должно обеспечить устройство, а также на основании указанных выше требований и структурной схемы, была разработана функциональная схема устройства контроля, которая изображена на рис. 11. Схема содержит балансные смесители СМ1–СМ4, полосовые фильтры, буферные каскады, согласующую цепь и аттенюатор.

В качестве основного элемента смесителей была выбрана микросхема двойного балансного смесителя SA612A. Выбор именно этой микросхемы объясняется ее характеристиками, удовлетворяющими по таким параметрам, как диапазон рабочих частот (не менее чем до 500 МГц), входное и выходное сопротивления

(1,5 кОм), коэффициент шума (до 6 дБ) и достаточно эффективное подавление паразитных сигналов [25]. Полосовые фильтры применены для фильтрации побочных продуктов преобразования.

Согласующая цепь и буферные каскады предназначены для согласования входных и выходных сопротивлений узлов, развязки по постоянному току и исключения влияния последующих каскадов на предыдущие. Регулируемый аттенюатор служит для ослабления сигнала и шума предыдущих каскадов и дополнительной установки напряжения выходного сигнала на несущей частоте в необходимых пределах 0–25 мкВ (основная установка уровня напряжения каждого из выходных сигналов осуществляется программно с помощью формирователя спектра сигнала).

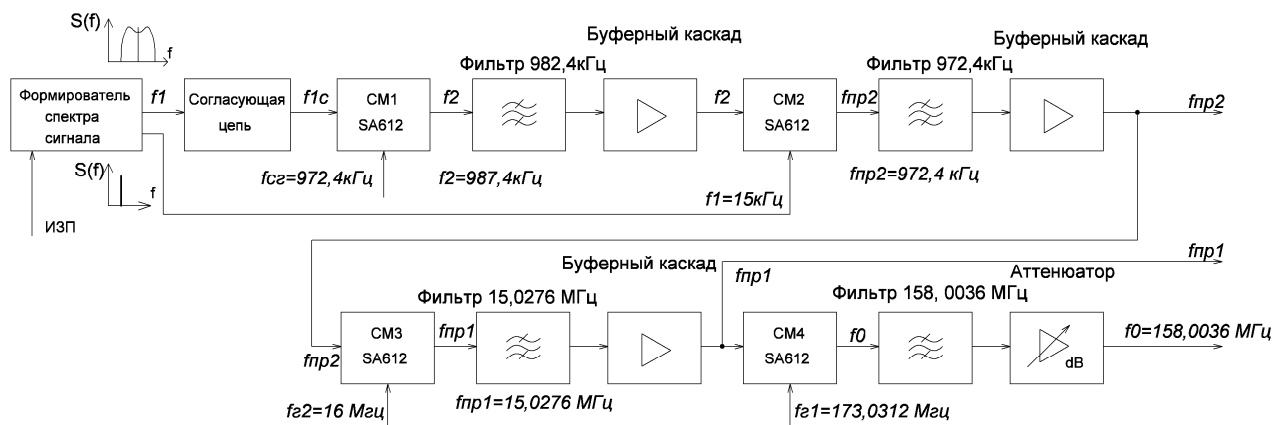


Рис. 11 – Функциональная схема устройства контроля

Требования к полосовым фильтрам на выходах смесителей. Для всех фильтров: неравномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в полосе спектра контрольного сигнала ( $2\Delta f = 10$  кГц) – не более 0,1 дБ; подавление внеполосных помех – не менее 40 дБ. Исходя из этих условий сформулированы основные требования к каждому конкретному фильтру, которые представлены в таблице 2.

Особые требования к ширине полосы пропускания и ширине полосы задержания АЧХ предъявляются к фильтрам, стоящим после смесителей СМ1 и СМ2. Это обусловлено тем, что разница между частотой гетеродина ( $f_{cr}$ ) на входе СМ1, а также сигнала ( $f_1$ ) на входе СМ2, и центральной частотой спектра сигнала на выходе соответствующего смесителя ( $f_2$  и  $f_{np2}$ ) достаточно мала (15 кГц) и соизмерима с шириной

синтезированного спектра сигнала ( $2\Delta f=2\dots 10$  кГц). Наиболее приемлемыми для всех фильтров являются фильтры типа Кауэра. Основные характеристики рассчитанных фильтров приведены в таблице 3.

Таблица 2 – Основные требования к полосовым фильтрам

Расположение фильтров	Ширина полосы пропускания	Ширина полосы задержания (по уровню 40 дБ)
СМ1 и СМ2	не менее 10 кГц (при неравномерности АЧХ не более 0,1 дБ)	$\leq 30$ кГц
СМ3	590 кГц	$\leq 1,8$ МГц
СМ4	4,9 МГц	$\leq 15$ МГц

Таблица 3 – Основные характеристики рассчитанных полосовых фильтров

Расположение фильтра	Тип фильтра	Порядок фильтра	Затухание в полосе пропускания $\Delta A$ , дБ	Затухание в полосе задержания $A_s$ , дБ	Рабочая частота, МГц
СМ1	Кауэра	5	0,039	60,8	0,9874
СМ2	Кауэра	5	0,039	60,8	0,9724
СМ3	Кауэра	3	0,011	52,82	15,0276
СМ4	Кауэра	3	0,011	52,82	158,0036

С целью проверки проведенных расчетов было проведено моделирование полосовых фильтров в программной среде Multisim 13.0, которое подтвердило правильность расчета и удовлетворило

требованиям, указанным в таблице 2. На рис. 12 в качестве примера представлен результат моделирования двух фильтров, используемых в смесителях СМ1 (рис. 12, а, б) и СМ3 (рис. 12, в, г).

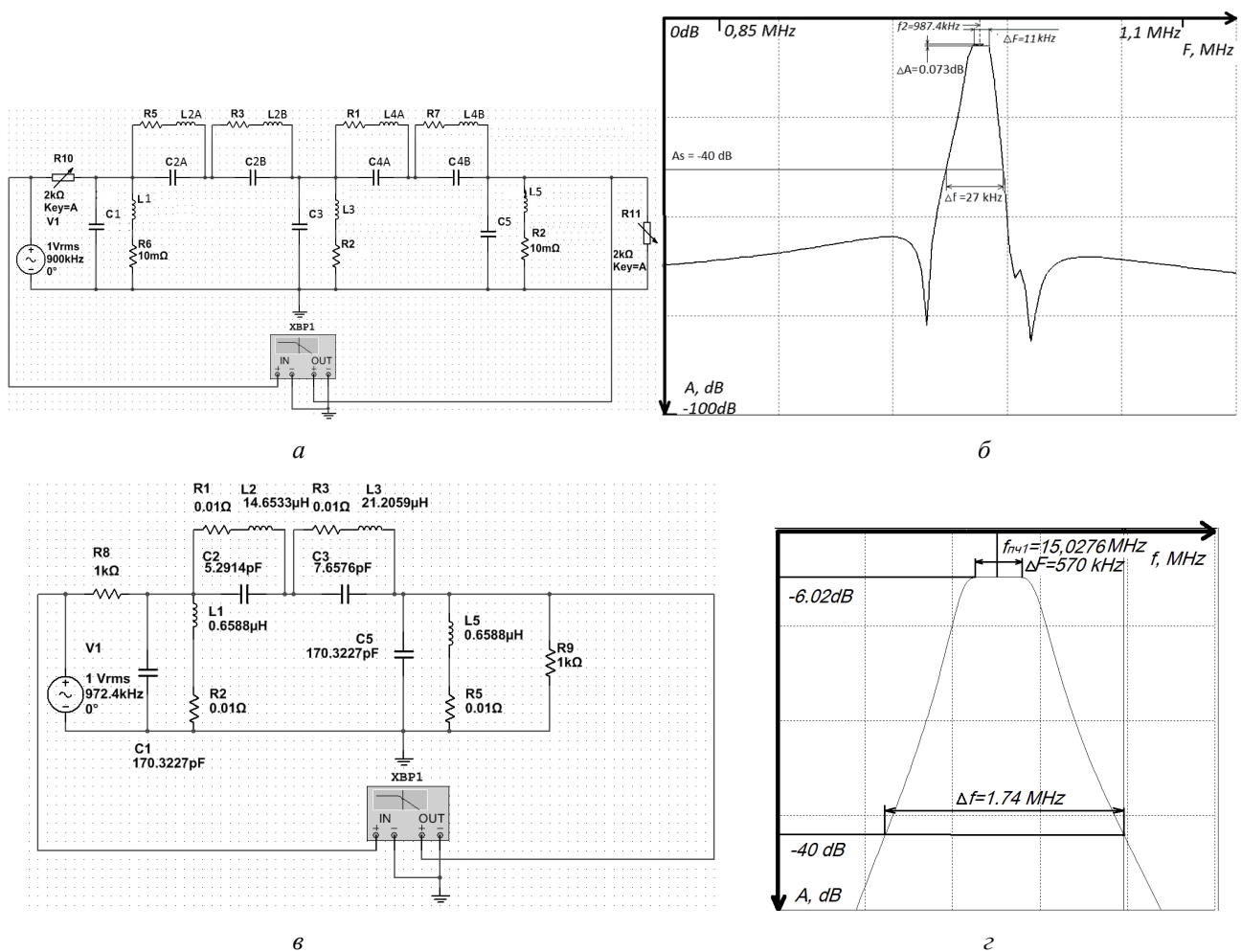


Рис. 12 – Пример моделирования полосовых фильтров: а, б – схема и АЧХ фильтра в составе смесителя СМ1; в, г – схема и АЧХ фильтра в составе смесителя СМ2



**Функционирование устройства контроля.** Для проведения контроля узлов радара НР осуществляется подключение к контролируемому узлу соответствующего выхода устройства контроля. Вводятся в ПК входные данные (тип сигнала, его характеристики – напряжение, длительность, задержка по отношению к ИЗП, для гармонического сигнала – частота, для случайного сигнала с равномерным спектром – ширина спектра и имитируемое доплеровское смещение, для сигнала-аналога НР сигналу – значения имитируемых температур ионов и электронов, скорости движения плазмы, длительности зондирующего импульса). При использовании сигнала на несущей частоте дополнительно устанавливается необходимое ослабление регулируемого аттенюатора (до проведения контроля ослабление максимальное). В случае контроля с использованием имитируемого НР сигнала его спектр рассчитывается автоматически с учетом длительности зондирующего радиоимпульса в соответствии с выражениями, представленными в [24, 26].

**Выводы.** Разработанное устройство формирования сигналов для тестирования радиотехнических систем радара НР позволяет:

- оперативно контролировать точность определения параметров ионосферы, таких как температуры ионов и электронов, скорость движения ионосферной плазмы;

- контролировать такие параметры систем радара, как амплитудную и фазовую стабильность параметров приемно-обрабатывающего тракта (как долговременную, так и на протяжении радиолокационной развертки), чувствительность и амплитудно-частотную характеристику РПрУ, точность установки фазового сдвига при формировании квадратурных сигналов и др.;

- тестировать и оптимизировать алгоритмы и программы обработки сигнала.

Предложенное устройство контроля позволяет осуществлять оперативный контроль систем радара как при подготовке к ионосферным измерениям, значительно сокращая время на нее, так и в период измерений. Оно может использоваться в качестве лабораторного макета в учебном процессе.

#### Список литературы

1. Эванс Дж. В. Теоретические и практические вопросы исследования ионосферы методом некогерентного рассеяния радиоволн / Дж. В. Эванс // ТИИЭР. – 1969. – Т. 57, № 4. – С. 139–175.
2. Емельянов Л. Я. Влияние характеристик зондирующего сигнала и радиоприемного тракта на точность измерения скорости дрейфа ионосферной плазмы методом некогерентного рассеяния / Л. Я. Емельянов // Вестн. Харьк. гос. политехн. ун-та. Физические аспекты современных технологий. Сб. научн. тр. – Харьков: ХГПУ. – 2000. – Вып. 103. – С. 34–38.
3. Емельянов Л. Я. Оптимизация приема и обработки НР сигнала для повышения точности определения скорости переноса ионосферной плазмы / Л. Я. Емельянов // Вестн. Нац. техн. ун-та «Харьковский политехнический институт»: Сб. научн. тр. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2005. – № 35. – С. 79–84.
4. Емельянов Л. Я. Контроль поляризации и стабильности параметров радара некогерентного рассеяния / Л. Я. Емельянов,

- И. Б. Скляр, С. В. Черняев, А. А. Полеткин // Вестн. Нац. техн. ун-та «Харьковский политехнический институт»: Сб. научн. трудов. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2001. – № 4. – С. 85–88.
5. Емельянов Л. Я. Обеспечение достоверности определения скорости дрейфа ионосферной плазмы методом некогерентного рассеяния / Л. Я. Емельянов, И. Б. Скляр // Вестн. Нац. техн. ун-та «Харьковский политехнический институт»: Сб. научн. тр. Тематический выпуск: Радиофизика и ионосфера. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2003. – № 7, т. 4. – С. 35–40.
6. Emel'yanov L. Ya. Incoherent Scatter Measurement of the Electron Density Altitude Profiles / L. Ya. Emel'yanov // Geomagnetism and Aeronomy, – 2002, – V 42, N 1, – P. 109–113.
7. Скляр И. Б. Устройство формирования контрольного сигнала радара некогерентного рассеяния / И. Б. Скляр // Вестн. Харьк. гос. политехн. ун-та. Сб. научн. тр. – Харьков, 1999. – Вып. 31. – С. 117–119.
8. Лысенко В. Н. Синтез модели НР-сигнала / В. Н. Лысенко // Вестн. Харьк. политехн. ин-та: Исследование ионосферы методом НР. – 1987. – № 248. – Вып. 5. – С. 21–24.
9. Цуркан А. В. Учет влияния антенного коммутатора на определение параметров ионосферы / А. В. Цуркан // Вестн. Харьк. гос. политехн. ун-та. Физические аспекты современных технологий. Сб. научн. тр. – Харьков: ХГПУ. – 2000. – Вып. 103. – С. 113–115.
10. Богомаз А. В. Программно-аппаратный комплекс для имитации некогерентно рассеянного сигнала / А. В. Богомаз, Д. А. Искра // Вестн. Нац. техн. ун-та «Харьковский политехнический институт»: Сб. научн. тр. Серия: Радиофизика и ионосфера. – Харьков: НТУ «ХПИ». – № 33 (1066) – 2013. – С. 3–7.
11. Лысенко В. Н. Имитация НР-сигнала / В. Н. Лысенко, А. А. Капустян, А. В. Бруско // Вестн. Харьк. политехн. ин-та: Исследование ионосферы методом НР. – Харьков: ХПИ, 1986. – № 234, Вып. 4. – С. 60–64.
12. Скляр И. Б. Синтез фильтров для получения шумоподобного сигнала, имитирующего некогерентно рассеянный сигнал / И. Б. Скляр // Вестн. Харьк. гос. политехн. ун-та. Физические аспекты современных технологий. Сб. научн. тр. – Харьков: ХГПУ. – 2000. – Вып. 103. – С. 107–109.
13. Богомаз А. В. Моделирование случайного сигнала с заданной спектральной плотностью мощности / А. В. Богомаз // Вестн. Нац. техн. ун-та «Харьковский политехнический институт»: Сб. научн. тр. Автоматика и приборостроение. – Харьков. – 2009. – № 23 – С. 29–32.
14. Лялюк А. И. Исследование цифровых имитаторов сигнала некогерентного рассеяния / А. И. Лялюк, Е. В. Рогожкин // Международная научная конференция MicroCAD: Секція № 17 – Навколоземний космічний простір. Радиофізика та іоносфера. Тез. докл. – НТУ «ХПИ». – 2009. – С. 175.
15. Рогожкин Е. В. Анализ возможности контроля результатов ионосферных измерений при НР / Е. В. Рогожкин, Д. П. Белозеров // Вестн. Нац. техн. ун-та «Харьковский политехнический институт»: Сб. научн. тр. Серия: Радиофизика и ионосфера. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2002. – № 9, т. 5. – С. 61–64.
16. Dominin, I. F. Kharkiv Incoherent Scatter Facility / I. F. Dominin, Ya. M. Cherpurnyy, L. Ya. Emelyanov [et al.] // Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Scientific papers. Issue: Radiophysics and ionosphere. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2014. – No 47 (1089). – P. 28–42.
17. Емельянов Л. Я. Минимизация погрешностей измерения скорости движения ионосферной плазмы / Л. Я. Емельянов, И. Б. Скляр // Вестн. Нац. техн. ун-та «Харьковский политехнический институт»: Сб. научн. тр. Тематический выпуск: Радиофизика и ионосфера. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2002. – № 9, т. 5. – С. 29–33.
18. Емельянов Л. Я. Радиоприемное устройство радара некогерентного рассеяния / Л. Я. Емельянов // Вестн. Харьк. гос. политехн. ун-та. Сб. научн. тр. – Харьков, 1999. – Вып. 31. – С. 108–112.
19. Dominin I. F. Dynamics of the ionospheric plasma above Kharkiv during the January 4, 2011 solar eclipse / I. F. Dominin, L. Ya. Emelyanov, L. F. Chernogor // Radio Physics and Radio Astronomy. – 2012. – V. 3, No. 4. – P. 311–324. DOI: 10.1615/RadiophysicsRadioAstronomy.v3.i4.50.
20. Богомаз А. В. Пакет программ нового поколения для обработки данных радаров некогерентного рассеяния Unified Processing of

- the Results of Incoherent Scatter Experiments (UPRISE) / A. V. Bogomaz, D. V. Kotov // Вестн. Нац. техн. ун-та «Харьковский политехнический институт»: Сб. научн. тр. Серия: Радиофизика и ионосфера. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2013. – № 28 (1001). – С. 29–37.
21. Yemelyanov L. Ya. The Peculiarities of Mid-Latitude Ionosphere Plasma Drift Velocity Determination / L. Ya. Yemelyanov, D. A. Dzyubanov // Telecommunications Radio Engineering. – 2007. – V. 66, No. 14. – P. 1313–1327).
  22. Богомаз А. В. Моделирование некогерентно рассеянного сигнала и высотного распределения его параметров / А. В. Богомаз // Вестн. Нац. техн. ун-та «Харьковский политехнический институт»: Сб. научн. тр. Тематический выпуск: Радиофизика и ионосфера. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2010. – № 48 – С. 72–76.
  23. Un Developments Seen, 2016. – Режим доступа: <http://www.un4seen.com/> – Дата обращения 30 сентября 2016.
  24. Емельянов Л. Я. Квазиоптимальный прием сигналов некогерентно рассеяния / Л. Я. Емельянов, А. В. Богомаз, И. М. Касымов // Вісн. Нац. техн. ун-ту «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Серія: Радіофізика та іоносфера. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015, № 37 (1146). – С. 79–86.
  25. SA612A Double-balanced mixer and oscillator // Product data sheet. Rev. 3–4 June 2014. [http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/SA612A.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/SA612A.pdf).
  26. Гринченко С. В. Оптимальный алгоритм многократных вычислений теоретических характеристик некогерентно рассеянного сигнала / С. В. Гринченко // Вестн. Харьк. гос. политехн. ун-та. Сб. научн. тр. – Харьков, 1999.– Вып. 7. – С. 331–336.

## References (transliterated)

1. Jevans, Dzh. V. “Teoreticheskie i prakticheskie voprosy issledovaniya ionosfery metodom nekogerentnogo rassejaniya radiovoln” [Theory and practice of Thompson scatter]. *TIIJeR* [Proc. IEEE]. vol. 57, no. 4, pp. 139–175.
2. Emel'yanov L. Ya. Vliyanie kharakteristik zondiruyushchego signala i radiopriemnogo trakta na tochnost' izmereniya skorosti dreyfa ionosfernoy plazmy metodom nekogerentnogo rasseyaniya [Influence of the characteristics of sounding signal and radio receiver path on the accuracy of ionosphere plasma drift velocity measurements by incoherent scatter technique]. *Vestn. Khar'k. gos. politekhn. un-ta. Fizicheskie aspekty sovremennykh tekhnologiy. Sb. nauchn. tr.* [Bulletin of the Kharkov State Polytechnic University: Physical Aspects of Modern Technologies.]. Kharkiv, KhSPU, 2000, issue 103, pp. 34–38.
3. Emel'yanov L. Ya. Optimizatsiya priema i obrabotki NR signala dlya povysheniya tochnosti opredeleniya skorosti perenos ionosfernoy plazmy [Optimization of reception and processing IS signal for improving accuracy of the ionospheric plasma drift velocity determination]. *Vestn. Nats. tekhn. un-ta «Khar'kovskiy politekhnicheskiiy institut»: Sb. nauchn. tr.* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkiv, NTU "KhPI", 2005, no. 35, pp. 79–84.
4. Emel'yanov L. Ya., Sklyarov I. B., Chernyaev S. V., Poletkin A. A. Kontrol' polyarizatsii i stabil'nosti parametrov radara nekogerentnogo rasseyaniya [Testing of polarization and stability of incoherent scatter radar parameters]. *Vestn. Nats. tekhn. un-ta «Khar'kovskiy politekhnicheskiiy institut»: Sb. nauchn. tr.* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkiv, NTU "KhPI", 2001, no. 4, pp. 85–88.
5. Emel'yanov L. Ya., Sklyarov I. B. Obespechenie dostovernosti opredeleniya skorosti dreyfa ionosfernoy plazmy metodom nekogerentnogo rasseyaniya [Ensuring the reliability of the ionosphere plasma drift velocity determination by the incoherent scatter technique]. *Vestn. Nats. tekhn. un-ta «Khar'kovskiy politekhnicheskiiy institut»: Sb. nauchn. tr. Tematicheskiiy vypusk: Radiofizika i ionosfera* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Thematic issue: Radiophysics and Ionosphere.]. Kharkiv, NTU "KhPI", 2003, no. 7, vol. 4, pp. 35–40.
6. Emel'yanov L. Ya. Incoherent Scatter Measurement of the Electron Density Altitude Profiles. *Geomagnetism and Aeronomy*. 2002, vol. 42, no. 1, pp. 109–113.
7. Sklyarov I. B. Ustroystvo formirovaniya kontrol'nogo signala radara nekogerentnogo rasseyaniya [Device for generation of test signal of the incoherent scatter radar]. *Vestn. Khar'k. gos. politekhn. un-ta. Sb. nauchn. tr.* [Bulletin of the Kharkov State Polytechnic University]. Kharkiv, KhSPU, 1999, issue 31, pp. 117–119.
8. Lysenko V. N. Sintez modeli NR-signalov [Synthesis of IS signal model]. *Vestn. Khar'k. politekhn. in-ta: Issledovanie ionosfery metodom NR* [Bulletin of the Kharkov Polytechnic Institute: Investigation of the Ionosphere by IS Technique]. Kharkov, 1987, no. 248, issue 5, pp. 21–24.
9. Tsurkan A. V. Uchet vliyaniya antennogo kommutatora na opredelenie parametrov ionosfery [Accounting antenna switch effect on determination ionospheric parameters]. *Vestn. Khar'k. gos. politekhn. un-ta. Fizicheskie aspekty sovremennykh tekhnologiy. Sb. nauchn. tr.* [Bulletin of the Kharkov State Polytechnic University]. Kharkiv, KhSPU, 2000, issue 103, pp. 113–115.
10. Bogomaz A. V., Iskra D. A. Programmo-apparatnyy kompleks dlya imitatsii nekogerentno rasseyanogo signala [Hardware-software complex for simulating incoherent scatter signal]. *Vestn. Nats. tekhn. un-ta «Khar'kovskiy politekhnicheskiiy institut»: Sb. nauchn. tr. Seriya: Radiofizika i ionosfera* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Radiophysics and Ionosphere.]. Kharkiv, NTU "KhPI", 2013, no. 33 (1066), pp. 3–7.
11. Lysenko V. N., Kapustyan A. A., Brusko A. V. Imitatsiya NR-signalov [Simulation of IS signal]. *Vestn. Khar'k. politekhn. in-ta: Issledovanie ionosfery metodom NR* [Bulletin of the Kharkov Polytechnic Institute: Investigation of the Ionosphere by IS Technique]. Kharkov, 1986, no. 234, issue 4, pp. 60–64.
12. Sklyarov I. B. Sintez fil'trov dlya polucheniya shumopodobnogo signala, imitiruyushchego nekogerentno rasseyanyy signal [Synthesis of filters for generation of the noise-like signal, simulating incoherent scatter signal]. *Vestn. Khar'k. gos. politekhn. un-ta. Fizicheskie aspekty sovremennykh tekhnologiy. Sb. nauchn. tr.* [Bulletin of the Kharkov State Polytechnic University]. Kharkiv, KhSPU, 2000, issue 103, pp. 107–109.
13. Bogomaz A. V. Modelirovanie sluchaynogo signala s zadannoy spektral'noy plotnost'yu moshchnosti [Simulation of random signal with predetermined power spectral density]. *Vestn. Nats. tekhn. un-ta «Khar'kovskiy politekhnicheskiiy institut»: Sb. nauchn. tr. Avtomatika i priborostroenie* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Automatics and Instrument Engineering.]. Kharkiv, NTU "KhPI", 2009, no. 23, pp. 29–32.
14. Lyalyuk A. I., Rogozhkin E. V. Issledovanie tsifrovyykh imitatorov signala nekogerentnogo rasseyaniya [Research of digital simulators of incoherent scatter signal]. *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya MicroCAD: Sektsiya № 17 – Navkolozemniy kosmichniy prostir. Radiofizika ta ionosfera. Tez. dokl.* [International Scientific Conference MicroCAD: Section 17 – Near-Earth Space Environment. Radiophysics and Ionosphere. Abstracts.]. Kharkiv, NTU "KhPI", 2009, p. 175.
15. Rogozhkin E. V., Belozherov D. P. Analiz vozmozhnosti kontrolya rezul'tatov ionosfernykh izmereniy pri NR [Analysis of the possibility of testing the results of ionospheric measurements with IS technique]. *Vestn. Nats. tekhn. un-ta «Khar'kovskiy politekhnicheskiiy institut»: Sb. nauchn. tr. Seriya: Radiofizika i ionosfera* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Radiophysics and Ionosphere.]. Kharkiv, NTU "KhPI", 2002, no. 9, vol. 5, pp. 61–64.
16. Domnin I. F., Chepurnyy Ya. M., Emelyanov L. Ya. et al. Kharkiv Incoherent Scatter Facility. *Bulletin of the National Technical University «Kharkiv Politechnic Institute». Scientific papers. Issue: Radiophysics and ionosphere.* Kharkiv, NTU “KhPI”, 2014, no. 47 (1089), pp. 28–42.
17. Emel'yanov L. Ya., Sklyarov I. B. Minimizatsiya pogreshnostey izmereniya skorosti dvizheniya ionosfernoy plazmy [Minimization of errors in the ionospheric plasma drift velocity measurement]. *Vestn. Nats. tekhn. un-ta «Khar'kovskiy politekhnicheskiiy institut»: Sb. nauchn. tr. Tematicheskiiy vypusk: Radiofizika i ionosfera* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Thematic issue: Radiophysics and Ionosphere.]. Kharkiv, NTU "KhPI", 2002, no. 9, vol. 5, pp. 29–33.
18. Emel'yanov L. Ya. Radiopriemnoe ustroystvo radara nekogerentnogo rasseyaniya [Radio receiving device of the incoherent scatter radar]. *Vestn. Khar'k. gos. politekhn. un-ta. Sb. nauchn. tr.* [Bulletin of the Kharkov State Polytechnic University]. Kharkiv, KhSPU, 1999, issue 31, pp. 108–112.
19. Domnin I. F., Emelyanov L. Ya., Chernogor L. F. Dynamics of the ionospheric plasma above Kharkiv during the January 4, 2011 solar

- eclipse. *Radio Physics and Radio Astronomy*. 2012, vol. 3, no. 4, pp. 311–324.
20. Bogomaz A. V., Kotov D. V. Paket programm novogo pokoleniya dlya obrabotki dannykh radarov nekogerentnogo rasseyaniya Unified Processing of the Results of Incoherent Scatter Experiments (UPRISE) [New generation software package for incoherent scatter radar data processing “Unified Processing of the Results of Incoherent Scatter Experiments (UPRISE)”]. *Vestn. Nats. tekhn. un-ta «Khar'kovskiy politekhnicheskiiy institut»: Sb. nauchn. tr. Seriya: Radiofizika i ionosfera* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Radiophysics and Ionosphere]. Kharkiv, NTU "KhPI", 2013, no. 28 (1001), pp. 29–37.
21. Yemelyanov L. Ya., Dzyubanov D. A. The Peculiarities of Mid-Latitude Ionosphere Plasma Drift Velocity Determination. *Telecommunications Radio Engineering*. 2007, vol. 66, no. 14, pp. 1313–1327.
22. Bogomaz A. V. Modelirovanie nekogerentno rasseyannogo signala i vysotnogo raspredeleniya ego parametrov [Simulation of the incoherent scatter signal and altitude distribution of its parameters]. *Vestn. Nats. tekhn. un-ta «Khar'kovskiy politekhnicheskiiy institut»: Sb. nauchn. tr. Tematicheskiiy vypusk: Radiofizika i ionosfera* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Radiophysics and Ionosphere]. Kharkiv, NTU "KhPI", 2010, no. 48, pp. 72–76.
23. Un Developments Seen, 2016. – Rezhim dostupa [Access mode]: <http://www.un4seen.com/> – Data obrashcheniya 30 sentyabrya 2016 (Accessed 30.09.2016).
24. Emelyanov L. Ya., Bogomaz A. V., Kasymov I. M. Kvazioptimal'nyy priem signalov nekogerentnogo rasseyaniya [Quasioptimal reception of the incoherent scatter signals]. *Vestn. Nats. tekhn. in-tu «Khar'kovskiy politekhnicheskiiy institut». Zbirnyk naukovikh prats'. Seriya: Radiofizyka ta ionosfera* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Radiophysics and Ionosphere]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2015, no. 37 (1146), pp. 79–86.
25. SA612A Double-balanced mixer and oscillator // Product data sheet. Rev. 3–4 June 2014. [http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/SA612A.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/SA612A.pdf).
26. Grinchenko S. V. Optimal'nyy algoritm mnogokratnykh vychisleniy teoreticheskikh kharakteristik nekogerentno rasseyannogo signala [Optimal algorithm for multiple calculations of theoretical characteristics of the incoherent scatter signal]. *Vestn. Khar'k. gos. politekhn. un-ta. Sb. nauchn. tr.* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkiv, NTU "KhPI", 1999, issue 7, pp. 79–86.

Поступила (received) 30.09.2016

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Пристрій формування сигналів для контролю радару некогерентного розсіяння / Л. Я. Ємельянов, О. В. Богомаз, Б. Р. Бравічев** // – Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Радіофізика та іоносфера. – X. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 34 (1206). – С. 84–94. – Бібліогр.: 26 назв. – ISSN 2078-9998.

**Устройство формирования сигналов для контроля радару некогерентного рассеяния / Л. Я. Емельянов, А. В. Богомаз, Б. Р. Бравичев** // Вестник НТУ «ХПИ». Серія: Радіофізика та іоносфера. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2016. – № 34 (1206). – С. 84–94. – Библиогр.: 26 назв. – ISSN 2078-9998.

**Device for generation of signals for testing the incoherent scatter radar / L. Ya. Emelyanov, O. V. Bogomaz, B. R. Bravichev** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Radiophysics and ionosphere. – Kharkiv : NTU “KhPI”, 2016. – No. 34 (1206). – P. 84–94. – Bibliogr.: 26. – ISSN 2078-9998.

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Ємельянов Леонід Якович** – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, Інститут іоносфери, завідувач відділу, м. Харків; тел.: 706-22-87; e-mail: [leonid.ya.emelyanov@gmail.com](mailto:leonid.ya.emelyanov@gmail.com).

**Емельянов Леонид Яковлевич** – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт ионосферы, заведующий отделом, г. Харьков; тел.: 706-22-87; e-mail: [leonid.ya.emelyanov@gmail.com](mailto:leonid.ya.emelyanov@gmail.com).

**Emelyanov Leonid Yakovlevich** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Institute of Ionosphere, Head of Department, Kharkiv; тел.: 706-22-87; e-mail: [leonid.ya.emelyanov@gmail.com](mailto:leonid.ya.emelyanov@gmail.com).

**Богомаз Олександр Вікторович** – кандидат технічних наук, Інститут іоносфери, старший науковий співробітник, м. Харків; тел.: 706-22-87; тел.: 706-22-87; e-mail: [albom85@yandex.ru](mailto:albom85@yandex.ru).

**Богомаз Александр Викторович** – кандидат технических наук, Институт ионосферы, старший научный сотрудник, г. Харьков; тел.: 706-22-87; e-mail: [albom85@yandex.ru](mailto:albom85@yandex.ru).

**Bogomaz Oleksandr Viktorovych** – Candidate of Technical Sciences, Institute of Ionosphere, Senior research scientist, Kharkiv; тел.: 706-22-87; e-mail: [albom85@yandex.ru](mailto:albom85@yandex.ru).

**Бравічев Богдан Романович** – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, кафедра “Радіоелектроніка”, магістр, м. Харків; тел. (067) 134-07-70; e-mail: [ur6lln@mail.ru](mailto:ur6lln@mail.ru).

**Бравичев Богдан Романович** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», кафедра «Радиоэлектроника», магистр, г. Харьков; тел. (067) 134-07-70; e-mail: [ur6lln@mail.ru](mailto:ur6lln@mail.ru).

**Bravichev Bogdan Romanovich** – National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Department ‘Radioelectronics’, Master, Kharkiv; тел.: (067) 134-07-70; e-mail: [ur6lln@mail.ru](mailto:ur6lln@mail.ru).