

# ШУМОПОДОБНЫЕ СИГНАЛЫ И ИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В СИСТЕМАХ РАДИОСВЯЗИ

**Страхолис Андрей Андреевич,**

Академия государственной противопожарной службы  
МЧС России, Москва, Россия, [astraholis@rambler.ru](mailto:astraholis@rambler.ru)

**Олейников Владимир Тарасович,**

Академия государственной противопожарной службы  
МЧС России, Москва, Россия, [vto1948@mail.ru](mailto:vto1948@mail.ru)

**Петренко Андрей Николаевич,**

Академия государственной противопожарной службы  
МЧС России, Москва, Россия, [12345pan@mail.ru](mailto:12345pan@mail.ru)

DOI: 10.36724/2072-8735-2022-16-7-14-20

Manuscript received 03 June 2022;  
Accepted 28 June 2022

**Ключевые слова:** системы связи, ШПС, ППСФ, связь на пожаре, CDMA

Рассматривается актуальная задача определения принципа формирования сигнала передачи и его преобразования в исходный сигнал, обеспечивающего устойчивую радиосвязь в радиопомеховой обстановке. Это характерно при организации управления подразделениями обеспечивающие тушение пожара, особенно в лесных массивах и степях. Предметом исследования является применение перепрограммируемого согласованного фильтра (ППСФ), в котором для преобразования фазоманипулированных шумоподобных сигналов применён спиновой эхо процессор с рабочим веществом  $^{59}\text{Co}$ . Цель работы заключается в предложении применения в ППСФ спинового процессора, обеспечивающего преобразование ФМ ШПС даже при наличии динамично изменяющейся многолучёвости. При такой конфигурации радиопередающего устройства появляется возможность организации многоадресной радиосвязи без развёртывания базовой станции. Результаты исследования включают результаты машинного моделирования преобразования ФМ ШПС в ППСФ при неблагоприятных условиях формирования на входе радиоприёмного устройства трёхлучевого сигнала. Приведены структурные схемы формирователя ФМ ШПС и ППСФ лабораторной установки, на которой проводились исследования. Полученные результаты лабораторных исследований в пределах допустимой погрешности, при снятии результатов и в измерительных приборах, совпадают с результатами машинного моделирования. Поэтому рассмотренный принцип преобразования ФМ ШПС в ППСФ, в основе которого заложен принцип преобразования ФМ ШПС в первичный сигнал может быть с успехом реализован в радиостанциях, применяемых подразделениями МЧС России в районах тушения пожара.

## Информация об авторе:

**Страхолис Андрей Андреевич**, профессор кафедры СЭАСС, д.т.н., доцент, Академия государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия

**Олейников Владимир Тарасович**, профессор кафедры СЭАСС, к.т.н., с.н.с., Академия государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия

**Петренко Андрей Николаевич**, профессор кафедры СЭАСС, к.т.н., доцент, Академия государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия

## Для цитирования:

Страхолис А.А., Олейников В.Т., Петренко А.Н. Шумоподобные сигналы и их преобразование, используемые в системах радиосвязи // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Том 16. №7. С. 14-20.

## For citation:

Strakholis A.A., Oleynikov V.T., Petrenko A.N. (2022). Noise-like signals and their conversion used in radio communication systems. T-Comm, vol. 16, no.7, pp. 14-20. (in Russian)

## Введение и постановка задачи

Опыт организации радиосвязи при оперативном управлении подразделениями пожарно-спасательного гарнизона при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ в лесных массивах и на обширных степных территориях показывает, что находящиеся в распоряжении подразделений радиостанции узкополосного сигнала, не обеспечивают устойчивую радиосвязь между абонентами.

Проведённые в этом направлении исследования показывают, что в очагах пожара формируется электромагнитное поле, которое влияет на распространение радиоволн и тем самым искажается сигнал, излучаемый антенной радиопередатчика.

В очаге пожара формируется смесь положительно и отрицательно заряженных ионов. При постоянном горении смесь положительно и отрицательно заряженных ионов распределена равномерно. Их облако становится нейтральным. Реально же в нём возникают флуктуации, которые приводят к разделению электрических зарядов. В общем виде возникают резонансные явления с частотой [1]

$$f_0 = \sqrt{\frac{c_e - z_e^2}{\pi m_e}} = 8960\sqrt{c_e},$$

где  $f_0$  – частота электромагнитных колебаний, возникающих в пламени;  $c_e$  – концентрация электронов, формируемых в очаге пламени.

Таким образом, на направлении распространения сигнала от антенны радиопередатчика возникает электромагнитный «барьер» с резонансной частотой  $f_0 = 8960\sqrt{c_e}$ . В этом случае сигнал с  $f_b \geq 8960\sqrt{c_e}$  будет проходить через «барьер», а при  $f_b < 8960\sqrt{c_e}$  – отражаться от него. Однако концентрация электронов  $c_e$ , формируемых в очаге пламени, не является постоянной. Поэтому частота сигнал с  $f_b < 8960\sqrt{c_e}$  будет изменяться, отражающий эффект ослабляется и сигнал радиопередатчика с некоторым искажением фазы и поляризации проходит через «барьер», что существенно влияет на устойчивость радиосвязи в зоне пожара.

Рассматривая характеристики различных сигналов с точки зрения устойчивого распространения электромагнитных волн при различной радиопомеховой обстановке, приходим к выводу, что на местах пожаров и проведения аварийно-спасательных работ целесообразно организовывать радиосвязь с помощью шумоподобных сигналов (ШПС). Эти сигналы обеспечивают устойчивую радиосвязь при многолучевом распространении электромагнитной волны (городская застройка, лесистая местность и т.д.), при организации множественного доступа, скрытности передачи сигнала, стойкости к помехам и т.д. [2].

В тракте приёма преобразование ШПС передачи осуществляется перепрограммируемом согласованным фильтром (ППСФ), построенный на базе спинового эхо процессора, свойства которого изложены в работах [3-6].

Основные возможности систем связи с ШПС, то есть пути решения проблемы ближний-дальний рассматривается в работах [7, 8].

При введении дополнительного временного и кодового разделения каналов можно организовать работу нескольких абонентов в одной частотной полосе и в одной зоне радиовидимости. Некоторые варианты такого подхода изложены в работах [9, 10].

## 1. Шумоподобные сигналы в системе радиосвязи

Шумоподобные сигналы применяются в качестве переносчика первичных (информационных) сигналов по радиолинии в рассматриваемой системе радиосвязи.

Шумоподобный сигнал всегда является широкополосным сигналом, а вот широкополосный сигнал не всегда является шумоподобным сигналом. В настоящей статье рассматривается система радиосвязи с использованием именно шумоподобных сигналов. Они формируются за счёт применения дополнительной модуляции несущих колебаний по псевдослучайному закону. В этом случае энергетические спектры сигнала расширяются, а его функция корреляции приобретает узкий выброс. В исследованиях наше внимание обращено на шумоподобные сигналы (ШПС), которые формируются путём фазовой манипуляции (ФМ) синусоидального сигнала псевдослучайной последовательностью (ПСП). При фазоманипулированном шумоподобном сигнале (ФМ ШПС) можно осуществлять разделение лучей и их объединение, устойчивость к сосредоточенной помехе и защиту от радиоперехвата.

База шумоподобных сигналов определяется как  $B_c = F_c T \gg 1$ . Если в системах связи стандарта CDMA использовать ШПС, то это позволит подавить помеху, поступающую на вход приемника в  $(B = W/F)$  раз.

При формировании ФМ ШПС используется ПСП, закон формирования которого необходимо знать при его приеме. Этим обеспечивается скрытность радиосвязи.

В научных статьях и книгах по использованию ШПС, рассматриваются различные способы формирования ШПС.

Здесь рассматривается вариант формирования ШПС при ФМ синусоидального колебания на промежуточной частоте 35 МГц. В этом случае предусматривается в тракте системы передачи применение двух этапов модуляции первичного сигнала. В первом этапе осуществляется преобразование первичного сигнала в шумоподобный сигнал, то есть осуществляется прямое расширение спектра, а при втором этапе – перенос его в рабочий диапазон передачи.

Мощность такого сигнала распределяется в широкой полосе частот. При этом его уровень становится ниже уровня фона помех. Однако, прием такого сигнала возможен, и только в том случае, если известны параметры используемой ПСП. Пример построения генератора ПСП показан на рисунке 1.

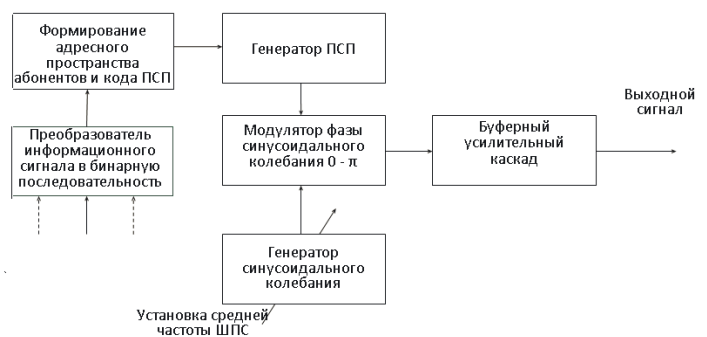


Рис. 1. Структурная схема генератора шумоподобного сигнала

На вход преобразователя информационного сигнала в бинарную последовательность (рис. 1) поступает первичный информационный сигнал, который предварительно преобразован в импульсный сигнал модулированный по фазе (ФИМ)

и передаётся в формирователь адресного пространства абонентов и кода ПСП. Таким образом, формируется импульсная последовательность с кодовым разделением каналов связи, которой управляется генератор формирования кода ПСП.

В качестве модулятора фазы синусоидального колебания ( $0 - \pi$ ) применяется балансный модулятор, в котором ПСП осуществляется дискретное изменение фазы синусоидального колебания, сформированного генератором синусоидального колебания, в промежутке ( $0 - \pi$ ). Генератор синусоидального колебания определяет значение центральной частоты сформированного ШПС.

Узкополосные помехам поражают только небольшую часть спектра ШПС и не нарушают его целостности. При этом ШПС на приемной стороне, может восстановиться без существенных потерь информации. При этом в приемнике ШПС мешающие сигналы проявляются слабым повышением уровня шумового фона без срыва сеанса связи. Особенно это явление устойчиво проявляется при применении ПСП манипулированных по фазе.

Формирование ФМ ШПС при двух значениях фазы гармонического сигнала ( $0$  или  $\pi$ ) не вызывает особых трудностей, а вот преобразование его в исходный сигнал представляют определённые сложности.

В настоящее время преобразование ШПС в сигнал корреляционной функции исходного сигнала осуществляется согласованными фильтрами в виде приборов на поверхностных акустических волнах (ПАВ), на приборах с зарядовой связью (ПЗС) [11, 21]. Для ФМ сигналов с большой базой используются корреляторы на ПЗС и на больших интегральных схемах (БИС).

В своих исследованиях, для преобразования ФМ ШПС в исходный сигнал, применён перепрограммируемый согласованный фильтр (ППСФ). В нём в качестве активного рабочего вещества могут применяться поликристаллические феррошпинели или плёнки ферромагнитных веществ. В них преобразование ФМ ШПС в функцию корреляции исходного сигнала осуществляется по закону ядерного магнитного резонанса (ЯМР).

## 2. Преобразование фазоманипулированного шумоподобного сигнала в исходный сигнал

*Архитектура развёртываемой на месте пожара сети радиосвязи.* Выбор способа преобразования ФМ ШПС в исходный сигнал определяется архитектурой развёртываемой радиосети. Она предполагает сначала её развёртывание с крупными рабочими зонами и относительно небольшим числом абонентов. По мере разрастания пожара происходит рост числа абонентов и уменьшения размеров сот. Они обеспечиваются персональным радиотелефоном со своим индивидуальным номером. При этом обеспечивается переход от уровня обслуживания абонента по схеме "человек-место" к уровню "человек-номер". В этом случае применение метода многостанционного доступа без радиального объединения (с прямым объединением), в котором не требуется синхронизация по времени между сигналами корреспондентов, повышает работоспособность всей системы и обеспечивает обнаружение подвижных абонентов.

Для рассмотренных свойств радиосистемы необходимо для преобразования ФМ ШПС в исходный сигнал определить

согласующие с ним возможности перепрограммируемого согласованного фильтра (ППСФ).

По результатам наших исследований пришли к выводу, что построение такого ППСФ возможно, при использовании в нём спинового эхо процессора. В нём в качестве рабочего вещества используется плёнка ферромагнитных веществ (табл. 1). При этом во внимание принимались такие параметры, как частота ЯМР МГц, ширина спектра ЯМР МГц, времена релаксации  $T_2$  мкс, определяющее время записи и считывания результата преобразования ФМ ШПС в исходный сигнал и  $T_1$  мкс – время возвращения системы в исходное равновесное состояние.

Из данных таблицы следует, что плёнки ферромагнитных веществ предпочтительно используются для преобразования ФМ ШПС на частотах 180,0-215,0 МГц и шириной спектра 10,0-30,0 МГц.

Таблица 1

Параметры ЯМР рабочих веществ на основе плёнок ферромагнитных веществ при 300 К

Металлов и сплавов при 300 К Ядро	Параметры ЯМР Состав феррита	Частота ЯМР, МГц	Ширина спектра ЯМР, МГц	Времена релаксации		Содержание изотопа в образце
				$T_2$ мкс	$T_1$ мкс	
$^{59}Co$	Кобальт	213,0-215,0	10,0-12,0	28	170	Плёнка двухфазного кобальта
$^{59}Co$	Железоникель-кобальт	185,0	30,0	50	300	-

Математическое описание ядерного магнитного резонанса при внешнем воздействии на спиновую систему ППСФ описывается уравнениями Блоха. В работах [18-20] рассмотрены решения уравнений Блоха при гармоническом возбуждении, возбуждении прямоугольным и ЛЧМ импульсами.

Численные методы решения уравнений Блоха рассмотрены в работах [9-13]. Однако предложенные методы дают приближенное решение. Поэтому авторы в своей работе для математического описания воздействия трёхлучевого ФМ ШПС на спиновую систему ППСФ и формирования его автокорреляционной функции применён геометрический подход алгебры Клиффорда [18]. По полученным выражениям разработаны алгоритмы обработки многолучевого ФМ ШПС в ППСФ.

На основе этих алгоритмов разработана программа, которая позволила провести математическое моделирование обработки многолучевого ФМ ШПС в ППСФ. Результаты моделирования при различном разделении луча приведены в [12, 14, 17,].

## 3. Экспериментальные исследования формирования ФМ ШПС и его преобразование в программируемом согласованном фильтре

*Алгоритм формирования ФМ ШПС сигнала передачи,* отражен функциональной схемой [11], которая изображена на рисунке 2.

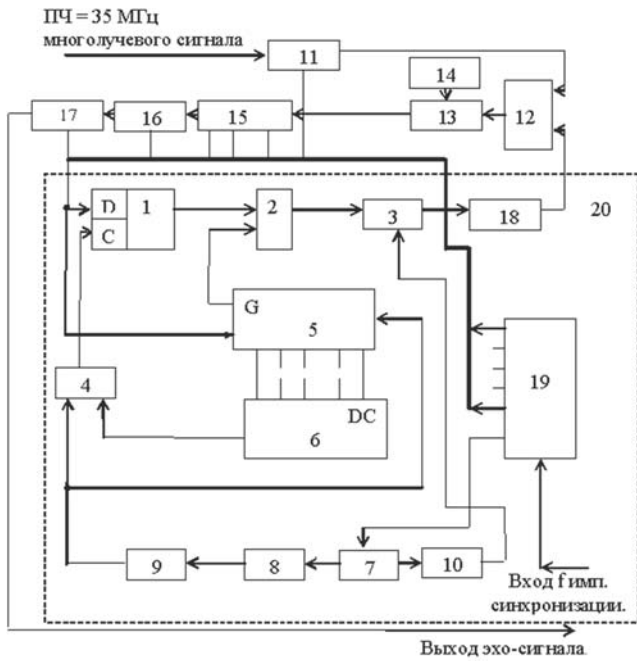


Рис. 2. Функциональная схема формирования ФМ ШПС передачи

Входной сигнал  $s(t)$  сформированный из первичного сигнала, синхронизируется с началом формирования ШПС D-триггером 1, открывает схему совпадения 2. При этом согласованное срабатывание элементов схемы 1 и 2, происходит тогда, когда из схемы совпадения 4 и генератора ПСП 5 подаются разрешающие импульсы. Формирователь 9, и дешифратор 6, обеспечивают длину ПСП. Начало формирования ПСП определяется информационным сигналом  $s(t)$ . Генерируемая ПСП транслируется на балансный смеситель 3, на второй вход которого с выхода умножителя частоты 10 подается напряжение промежуточной частоты 35 МГц. В балансном смесителе 3, по закону ПСП осуществляется изменение фазы отдельного элемента сигнала 35 МГц в интервале 0 или 180°.

Сформированный устройством 3 сигнал передачи (см. рис. 2) как многолучевой сигнал, передается в устройство обработки ШПС приема (рис. 3).

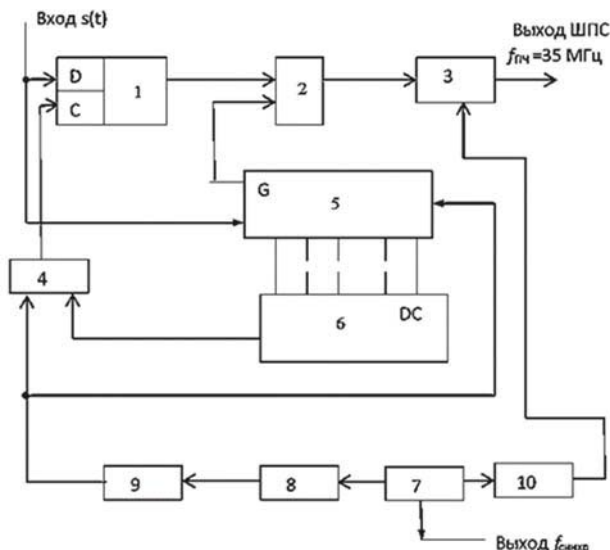


Рис. 3. Функциональная схема детектирования ФМ ШПС приема

**Алгоритм преобразования ФМ ШПС перепрограммируемом согласованным фильтром в исходный сигнал** изображен на рисунке 3 [15, 16].

Здесь многолучевой сигнал через элемент 11 и элемент 12, на который дополнительно подается опорный ФМ ШПС, аналогичный ФМ ШПС передачи, который определяется устройством формирования копии ФМ ШПС 20. Принцип работы этого устройства аналогичен принципу работы устройства, который аналогичен формирователю сигнал передачи. Оба сигнала, через сумматор 12, в устройстве 13 преобразуется в сигнал с несущей частотой, соответствующей настройке ППСФ 15 (рис. 3).

Схема формирования импульсов управления 19 обеспечивает синхронную и синфазную работу элементов 1, 5, 7, 11, 15, 16, 17.

Для экспериментальных исследований в ППСФ применён спиновой эхо процессор, в котором использовано рабочее вещество в виде тонких пленок металлического кобальта ( $^{59}\text{Co}$ ). Центральная частота линии поглощения этого вещества равна 213 МГц, а ширина линии поглощения – 10 МГц.

Функциональная схема декодирующего устройства спинового эхо процессор показана на рис. 4. В нём рабочее вещество в форме плёнки  $^{59}\text{Co}$  помещено в резонансный контур, настройка которого на центральную частоту линии поглощения рабочего вещества, осуществляется конденсаторами  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$ . Диоды  $D_1 - D_2$  и  $D_3 - D_4$  защищают колебательный контур от перегрузки.

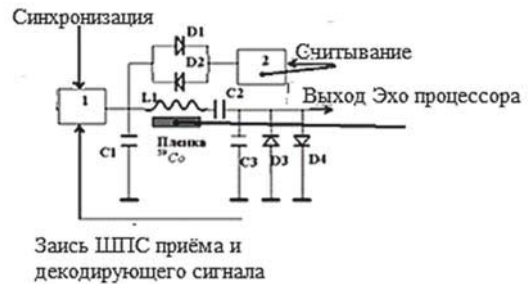


Рис. 4. Функциональная схема декодирующего устройства спинового эхо процессор

Рассмотренная схема (рис. 3) устойчиво работает на частотах от 30 до 250 МГц. Для более высоких рабочих частот, вместо колебательной системы используются коаксиальные резонаторы.

#### 4. Данные лабораторных исследований

Из-за ограничения объёма статьи здесь приводятся отдельные результаты эксперимента.

1. На вход ППСФ подаются два идентичных трёхлучевых сигнала (рис. 5). В этом случае обработка многолучевого сигнала осуществлялась при отсутствии рассогласований и при  $s_1(t) = s_2(t)$  – соответственно информационный и опорный сигнал. Величина сигнала измерена на выходе амплитудного детектора ППСФ определялась на уровне 0,7 амплитуды сигнала. Эти результаты принимаются за нормированное значение. Поэтому принимаем величину параметра  $R^2(\xi) = 1$ .

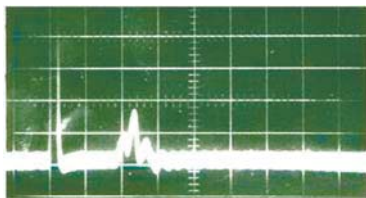


Рис. 5. Возбуждение и считывание ППСФ осуществляется идентичными трёхлучевыми сигналами

2. Возбуждение ПППСФ происходит при изменении кода опорного ФМ ШПС на два знака. Остальные условия аналогичны первому эксперименту. Фотография эхо-сигнала при воздействии на входе ППСФ многолучевого сигнала показана на рисунке 6. Из фотографии следует, что при изменении кода опорного многолучевого сигнала выигрыш отсутствует.

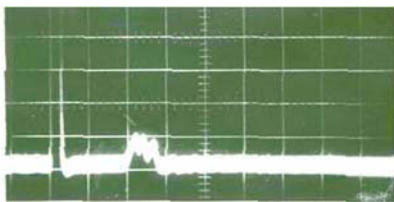


Рис. 6. Возбуждение ППСФ при изменении кода опорного сигнала ФМ ШПС на 2 знака

В этом эксперименте параметр  $R^2(\xi) = 0,23$ , что в первом приближении совпадает с результатами моделирования. Этот эксперимент подтверждает возможность кодового разделения информационных каналов. При кодовом разделении каналов, для повышения помехозащищённости между ними необходимо применять ортогональные функции для формирования ФМ ШПС.

3. В эксперименте амплитуды лучей в многолучевом принимаемом сигнале распределялись следующим образом: малая – большая – еще меньшая.

Фотография эхо-сигнала, сформированного на выходе ППСФ, при воздействии на его входе многолучевого сигнала, показана на рисунке 7.

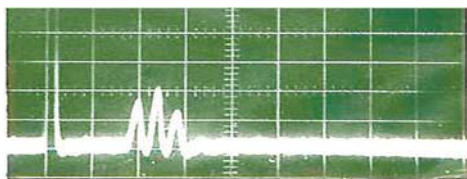


Рис. 7. Разделение трёхлучевого принимаемого ФМ ШПС с амплитудами лучей: малая – большая – еще меньшая

Из фотографий следует, что при изменении относительной амплитуды отдельных лучей многолучевого сигнала на входе ППСФ сопровождается пропорциональным изменением амплитуд стимулированных эхо-сигналов на его выходе. Такое изменение происходит только в том случае, когда мощность входного сигнала ПППСФ не превышает значения, когда вектор ядерной намагниченности его рабочего вещества отклоняется на угол, не превышающий значения  $\pi/6$ . В данном случае наблюдается расширение центрального пика эхо-сигналов, что для измерения его амплитуды роли не играет.

2. Для исследования относительных задержек отдельных лучей многолучевого сигнала (рис. 8) проведено при разной задержке между лучами. Фотография эхо-сигнала, сформированного на выходе ППСФ, показана на рисунке 8.

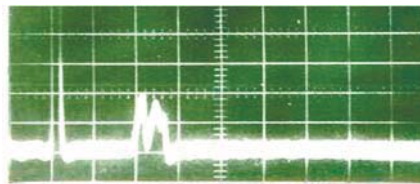


Рис. 8. Разделение трёхлучевого принимаемого ФМ ШПС с задержкой лучей: 1 – 2 – превышает длительность сигнала корреляции, а 2 – 3 – меньше длительность сигнала корреляции

Из фотографий следует, что изменение относительной задержки отдельных лучей многолучевого сигнала на входе ППСФ сопровождается пропорциональным изменением задержки стимулированных эхо-сигналов на его выходе.

Точность при измерении времени задержки каждого луча определяется шириной центрального пика эхо-сигналов. Для сужения центрального пика до своего теоретического предела, необходимо, чтобы вектор ядерной намагниченности рабочего вещества этого эхо процессора отклоняется на угол, приближающийся к значению  $\pi/2$ .

Из результатов второго эксперимента следует, что режимы работы ПППСФ при определении амплитуд и времени задержки отдельных лучей многолучевого сигнала различные. Поэтому в устройстве определения параметров многолучевого сигнала необходимо применять два независимо работающих ПППСФ. В том случае, когда система может работать без функции определения амплитуд отдельных лучей, в устройстве достаточно применять один ПППСФ. Исходя из этого, при расчете помехоустойчивости интервала радиолинии системы радиосвязи – это замечание необходимо учитывать.

## Выводы

Проведённый анализ свойств шумоподобных сигналов и их преобразование в исходный сигнал, которые предлагаются для использования в системах радиосвязи, позволяет сделать следующие выводы:

1. Предлагаемый подход применения ФМ ШПС и вариант их преобразования в исходный сигнал позволяет существенно увеличить устойчивость радиосвязи на местах тушения пожаров и проведении аварийно-спасательных работ в лесных массивах и на обширных степных территориях.

2. Предложенные для преобразования ФМ ШПС в исходный сигнал с помощью ППСФ позволяет реализацию формирования многоадресной системы радиосвязи при кодовом разделении каналов и организацию работу нескольких абонентов в одной полосе и в одной зоне радиовидимости.

3. Применяемое в спиновом эхо процессоре рабочее вещество в виде тонких пленок металлического кобальта ( $^{59}Co$ ) (Центральная частота линии поглощения этого вещества равна 213 МГц, а ширина линии поглощения – 10 МГц) обусловлено тем, что: – для Государственной противопожарной службы выделяются частоты в диапазоне 150-500 МГц; – в спиновом эхо процессоре преобразование входного сигнала

происходит в аналоговом виде, что имеет преимущество перед цифровыми методами обработки многолучевых сигналов и обеспечить более устойчивое разделение сигналов.

4. В последующих наших разработках будут использоваться тонкие металлические плёнки  $Fe - Co - Ni$ , в которых ширина линии поглощения увеличена до 40 МГц, что существенно увеличит помехозащищённость системы связи.

### Литература

1. *Бодров М.А., Столяров Д.В.* Исследование процессов тушения электромагнитным полем модельных очагов пожара класса А // Вестник науки. Самара. 2019. Т.1. № 11(20). С. 103-108.
2. *Ипатов В.П.* Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения. М.: Техносфера, 2007. 488 с.
3. *Тарханов В.И.* Принцип работы спинового эхо-процессора // Научное приборостроение, 2003. Т. 13. № 1. С. 51-57.
4. *Страхолис А.А., Есипенко В.И.* Принцип совмещения функций определения параметров подвижных объектов и передачи информации в единой системе электросвязи // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2009. № 5. С. 62-69.
5. *Баруздин С.А., Камерцева Я.С.* Динамический диапазон спинового процессора // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. №10. С. 3-10.
6. *Калиникос Б.А., Устинов А.Б., Баруздин С.А.* Спин-волновые устройства и эхо-процессоры. М.: Изд. «Радиотехника», 2013. 216 с.
7. *Варакин Л.Е.* Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 1985. 384 с.
8. *Varinov V.V., Kuznetsov V.S., Lebedev M.V.* Spreading ensembles with improved correlation properties for multiple access // 2005 IEEE 16th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, IEEE, 2005, vol. 2, pp. 1081-1085. DOI:10.1109/PIMRC.2005.1651607
9. *Кузнецов В.С., Волков А.С., Солодков А.В., Баскаков А.Е.* Разработка гетерогенной помехозащищенной системы радиосвязи с временным кодово-адресным разделением // Т-Comm-Телекоммуникации и Транспорт. 2018. Т. 12. № 9. С. 4-9.
10. *Волков А.С.* и др. Применение протокола TCP в мобильных самоорганизующихся сетях ad hoc, основанных на широкополосных сигналах // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2019. Т. 10. № 1. С. 4-10.
11. *Свистова Т.В.* Функциональная Электроника/ Учебное пособие// Воронежский государственный университет, 2014. С. 10-11. URL: <https://studfile.net/preview/996699/page:3>
12. *Абрамов О.Ю., Столяров В.О.* Усовершенствование алгоритма быстрого расчета сигналов спинового эха // Изв. ГЭТУ. 1995. Вып. 487. С. 33-36.
13. *Баруздин С.А.* Моделирование режимов работы эхо-процессора на ЭВМ // Изв. ЛЭТИ. 1982. Вып. 317. С. 52-56.
14. *Страхолис А.А.* Применение геометрической алгебры Клиффорда для исследования резонансных явлений в магнитоупорядоченных веществах // Международная научно-техническая конференция «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения». Материалы конференции. М.: МИРЭА, 2009. Т.9. №1. С.96-100.
15. *Страхолис А.А., Бушко С.Г.* Приборный комплекс для проведения лабораторных испытаний по обработке многолучевого шумоподобного сигнала в спиновом детекторе // Проектирование и технология электронных средств. Владимир: ВГУ. 2007. № 1. С. 52-57.
16. *Буров Р.И., Илларионов Б.В., Страхолис А.А.* Устройство синхронизации шумоподобного сигнала // Патент на изобретение. № RU 2294600 С1. Оpubл. 27.02.2007.
17. *Страхолис А.А., Олейников В.Т., Петренко А.Н.* Принцип формирования шумоподобных сигналов, для обеспечения устойчивой радиосвязи в зоне пожара // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. М., 2021. Том 1. № 4. С. 22-29.
18. *Страхолис А.А.* Математическая модель спинового детектора, осуществляющего обработку многолучевого сигнала // 15-ая межрегиональная научно-техническая конференция «Обработка сигналов в системах наземной радиосвязи и оповещения». Материалы конференции. Н. Н., ООО Поволжье, 2006. С. 157-165.
19. *Torrieri D.* Principles of spread-spectrum communication systems. Springer, 2015. 641 p.
20. *Simon M.K., Omura J.K., Scholtz R.A., Levitt B.K.* Spread Spectrum Communication Handbook, New York, McGraw-Hill, 1994, 1228 p
21. [http://fumo.phys.msu.ru/ArxivOldSite\\_UMS\\_Physics/programs/trf6.htm](http://fumo.phys.msu.ru/ArxivOldSite_UMS_Physics/programs/trf6.htm)

## NOISE-LIKE SIGNALS AND THEIR CONVERSION USED IN RADIO COMMUNICATION SYSTEMS

**Andrey A. Strakholis**, Academy of the State Fire Service EMERCOM of Russia, Moscow, Russia, [astraholis@rambler.ru](mailto:astraholis@rambler.ru)

**Vladimir T. Oleynikov**, Academy of the State Fire Service EMERCOM of Russia, Moscow, Russia, [vto1948@mail.ru](mailto:vto1948@mail.ru)

**Andrey N. Petrenko**, Academy of the State Fire Service EMERCOM of Russia, Moscow, Russia, [12345pan@mail.ru](mailto:12345pan@mail.ru)

### Abstract

The actual problem of determining the principle of the transmission signal formation and its transformation into an initial signal providing stable radio communication in a radio interference situation is considered. This is typical when organizing the management of fire extinguishing units, especially in forests and steppes. The subject of the study is the use of a reprogrammable matched filter (PPSF), in which a spin echo processor with a working substance  $^{59}\text{Co}$  is used to convert phase-manipulated noise-like signals. The purpose of the work is to propose the use of a spin processor in the PPSF, which ensures the conversion of FM SHPS even in the presence of dynamically changing multipath. With this configuration of the radio-transmitting device, it becomes possible to organize multicast radio communication without deploying a base station. The results of the study include the results of machine modeling of the conversion of FM SHPS to PPSF under unfavorable conditions of formation of a three-beam signal at the input of a radio receiver. The structural diagrams of the FM SHPS and PPSF shaper of the laboratory installation on which the research was carried out are given. The obtained results of laboratory studies within the permissible error, when removing the results and in measuring instruments coincide with the results of machine modeling. Therefore, the considered principle of converting FM SHPS into PPSF, which is based on the principle of converting FM SHPS into a primary signal, can be successfully implemented in radio stations used by units of the Ministry of Emergency Situations of Russia in fire extinguishing areas.

**Keywords:** communication systems, SHPS, PPSF, fire communication, CDMA.

### References

1. M.A. Bodrov, D.V. Stolyarov (2019). Investigation of the processes of extinguishing electromagnetic field model fires of class A. *Bulletin of Science. Samara*. No. 11(20), pp. 103-108.
2. V.P. Ipatov (2007). Broadband systems and code separation of signals. Principles and applications. Moscow: Technosphere. 488 p.
3. V. Tarkhanov (2003). The principle of the echo processor of spin operation. *Scientific instrumentation*, vol. 13, no. 1, pp. 51-57.
4. A.A. Strakholis, V.I., Esipenko (2009). The principle of combining the functions of determining the parameters of mobile objects and transmitting information in a single telecommunication system. *Bulletin of the Nizhny Novgorod University named after N.I. Lobachevsky*, no. 5, pp. 62-69.
5. S.A. Baruzdin, Ya.S. Kamertseva (2012). Dynamic range of a spin processor. *Izvestiya SPbGETU "LETI"*, no. 10, pp. 3-10.
6. B.A. Kalinikos, A.B. Ustinov, S.A. Baruzdin (2013). Spin-wave devices and echo processors. Moscow: Publishing house "Radio Engineering". 216 p.
7. L.E. Varakin (1985). Communication systems with noise-like signals. Moscow: Radio and Communications. 384 p.
8. V.V. Barinov, V.S. Kuznetsov, M.V. Lebedev (2005). Expanding ensembles with improved correlation properties for multiple access. *16th IEEE 2005 International Symposium on Personal, Internal and Mobile Radio Communications*, vol. 2, pp. 1081-1085. DOI:10.1109/PIMRC.2005.1651607
9. V.S.Kuznetsov, A.S. Volkov, A.V. Solodkov, A.E. Baskakov (2018). Development of a heterogeneous system of noise-proof radio communication with a temporary code-address separation. *T-Comm*. Vol. 12. No. 9, pp. 4-9.
10. A.S. Volkov et al. (2019). The use of the TCP protocol in mobile self-organizing networks of special, based on broadband signals. *Systems of synchronization, signal generation and processing*. Vol. 10. No. 1, pp. 4-10.
11. T.V. Svistova (2014). *Functional Electronics/ Textbook*. Voronezh State University, from 10-11 3.Address: <https://studfile.net/preview/996699/page:3>
12. O.Yu. Abramov, V.O. Stolyarov (1995). Improvement of the algorithm for fast calculation of spin echo signals. *Izv. GETU*. Issue 487. pp. 33-36.
13. S.A. Baruzdin (1982). Modeling of operation modes of an echo processor on a computer. *Izv. LETI*. Issue 317, pp. 52-56.
14. A.A. Strakholis (2009). Application of Clifford geometric algebra for the study of resonant phenomena in magnetically ordered substances // International Scientific and Technical Conference "Fundamental problems of electronic instrumentation". Materials of the conference. Moscow: MIREA., Vol. 9. No. 1, pp. 96-100.
15. A.A. Strakholis, S.G. Bushko (2007). Instrument complex for laboratory tests for processing a multipath noise-like signal in a spin detector // Design and technology of electronic means. Vladimir, VSU.. No. 1, pp. 52-57.
16. R.I. Burov, B.V. Illarionov, A.A. Strakholis (2007). Noise-like signal synchronization device signal. Patent for an invention. No. RU 2294600 C1, Publ. 27.02.2007.
17. A.A. Strakholis, V.T. Oleynikov, A.N. Petrenko (2021). The principle of forming noise-like signals to ensure stable radio communication in the fire zone // DSPA: Issues of application of digital signal processing. Moscow. Vol. 1, No. 4, pp. 22-29.
18. A.A. Strakholis (2006). Mathematical model of a spin detector processing a multipath signal. *15th Interregional Scientific and Technical Conference "Signal processing in terrestrial radio communication and notification systems"*. Materials of the conference. N. N., LLC Volga region, pp. 157-165.
19. D. Torrieri (2015). Principles of extended spectrum communication systems, Springer. 641 p.
20. M.K.Simon, J.K. Omura, R.A. Scholz, B.K. Levitt (1994). Handbook of Extended Spectrum Communication, New York, McGraw-Hill. 1228 p.
21. URL:[http://fumo.phys.msu.ru/ArxivOldSite\\_UMS\\_Physics/programs/trf6.htm](http://fumo.phys.msu.ru/ArxivOldSite_UMS_Physics/programs/trf6.htm)

### Information about authors:

**Andrey A. Strakholis**, Professor of the SEASS Department, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Academy of the State Fire Service EMERCOM of Russia, Moscow, Russia

**Vladimir T. Oleynikov**, Professor of the SEASS Department, Candidate of Technical Sciences, S.N.S. Academy of State Fire Service EMERCOM of Russia, Moscow, Russia

**Andrey N. Petrenko**, Professor of the SEASS Department, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Academy of the State Fire Service EMERCOM of Russia, Moscow, Russia