

УДК 621.391.8

Третья решающая схема – новое перспективное направление повышения эффективности приема-обработки сложных широкополосных шумоподобных сигналов

Сныткин И. И., Афонин И. Е., Захаренко Д. Г.

Актуальность. На определенных этапах развития теории и практики проектирования и создания систем передачи информации (СПИ) складывались (как объективно необходимые) определенные научно-технические категории и понятия, позволявшие осуществлять на системном профессиональном уровне: исследование (анализ и синтез) СПИ; профессионально-специальный диалог между учеными, проектировщиками, практиками; поступательное развитие теории СПИ. Так, например, к таким категориям, которые аббревируют процесс использования в СПИ информационных сигналов – простых и узкополосных – в частности, относятся: «первая» и «вторая» формирующие схемы (ПФС и ВФС), «первая» и «вторая» решающие схемы (ПРС и ВРС). Со времени начала и широкого применения в СПИ сложных широкополосных сигналов (широкополосных шумоподобных сигналов – ШШС или ШПС), строящихся на основе псевдослучайных последовательностей (ПСП), сложных дискретных и цифровых методов модуляции, цифровой связи и т.д., процессы формирования, приема и обработки ШПС требовали введения в «научно-технический» профессиональный оборот новых необходимых категорий, например: «широкополосная модуляция», «корреляционный прием» и др. А возникшие задачи по разработке и исследованию корреляционных свойств все новых классов ШПС с улучшенными помехозащищенными и специальными свойствами (по скрытности, имитостойкости, криптостойкости и др.), например, – классов производных и составных ШПС, привели к необходимости: пересмотреть справедливость и целесообразность использования тезиса «случайность» по отношению к корреляционным функциям (КРФ) ШПС, и ввести в теорию и практику тезис «детерминированность» КРФ ШПС для повышения эффективности приема-обработки ШПС и достоверности передачи информации в рамках новых методов и научно-технических схем. К таким методам и схемам за последние более 20 лет авторы данной статьи стали относить формирующую новую необходимую категорию – «третья решающая схема» (ТРС) – как совокупность алгоритмов, математических моделей, способов и технических решений – устройств, обеспечивающих значительное повышение эффективности процедур приема-обработки прежде всего производных и составных ШПС на основе использования свойств и закономерностей детерминированности КРФ ШПС. **Цель работы:** осуществить обзор научно-практического публикационного процесса разработки категории ТРС и исследования свойств и закономерностей КРФ ПСП (как основу ШПС) в виде производных нелинейных рекуррентных последовательностей (ПНЛРП), имеющих наиболее перспективную (в настоящее время) и широкую область применения в СПИ, к которым предъявляются высокие требования по обеспечению помехозащищенности (помехоустойчивости, скрытности различного типа, имитостойкости), криптоустойчивости и в целом информационной безопасности. **Практическая значимость:** ознакомить специалистов в области ШПС с сущностью, результатами разработки методов и способов ТРС, исследований свойств и закономерностей детерминированности КРФ ПНЛРП, имеющих безусловно широкое практическое применение. **Используемые методы:** моделирование (математическое, структурное), в том числе машинное, математическая формализация свойств и закономерностей детерминированности КРФ. **Результаты:** в статье осуществляет-

Библиографическая ссылка на статью:

Сныткин И. И., Афонин И. Е., Захаренко Д. Г. Третья решающая схема - новое перспективное направление повышения эффективности приема-обработки сложных широкополосных шумоподобных сигналов // Системы управления, связи и безопасности. 2026. № 1. С. 86-138. DOI: 10.24412/2410-9916-2026-1-086-138

Reference for citation:

Snytkin I. I., Afonin I. E., Zaharenko D. G. The third decisive scheme is a promising new direction for improving the efficiency of receiving and processing complex broadband noise-like signals. *Systems of Control, Communication and Security*, 2026, no. 1, pp. 86-138 (in Russian). DOI: 10.24412/2410-9916-2026-1-086-138

ся обзор результатов моделирования метода ТРС, свойств и закономерностей детерминированности КРФ (частных авто- и взаимокорреляционных функций) ПНЛРП, технических решений реализации ТРС.

Ключевые слова: корреляционная функция, частные автокорреляционная и взаимокорреляционная функции, сложные шумоподобные сигналы, псевдослучайные последовательности, производные нелинейные рекуррентные последовательности, ПНЛРП, третья решающая схема, первая и вторая решающие схемы, корреляционный прием, детерминированность корреляционной функции, первая и вторая формирующие схемы, фазоманипулированные псевдослучайные последовательности, свойства и закономерности детерминированности корреляционных функций, А-синхронизация и В-синхронизация ПНЛРП, последовательность чисел совпадений, виды, типы, классы двукратных (ДК) ПНЛРП.

«О сколько нам открытий чудных
Готовит просвещенья дух
И опыт – сын ошибок трудных,
И гений – парадоксов друг,
И случай – бог изобретатель».

А. С. Пушкин

Введение

Внимательно вчитываясь в вышеприведенное знаменитое четверостишие А. С. Пушкина, невольно фиксируешь возникающую мысль: насколько гениально «пушкинское» проникновение в сущность факторов, лежащих в основе научного прогресса и развития человеческого общества. Ведь действительно (любой ученый или просто творческая личность это знает) именно указанные А. С. Пушкиным факторы: *просвещение* (образование), *опыт* (использование получаемых знаний, умений и навыков на основе преодоления и исправления ошибок – в практической деятельности), *парадокс* (противоречивое соответствие, взаимосвязь, взаимодействие фактов, явлений, не имеющих логического объяснения), *гений* человека (позволяющий преодолевать или «разруливать» парадоксы), *случай* (фиксированное проявление какого-то явления – в том числе, как закона – в природе, обществе, научно-практической деятельности), наталкивающий на создание, соответствующего этому явлению и закону, изобретения (способа, технического решения, вещества и т.д.) в человеческой деятельности. Этот своего рода «закон», установленный А. С. Пушкиным, прогресса человечества – «пронизывает» всю жизнь человека. И в функционировании этого «закона», его проявлении мы (и ученые, и практики, и чиновники) постоянно в своей жизни убеждаемся.

И в названии, тематическом направлении, сущности и описываемых результатах данной статьи «пушкинский» закон проявляется в полной мере. Термин (понятие) «*третья решающая схема*» – это и парадокс, и опыт, и случай, и просвещение – а на настоящий момент – реальность, новое направление повышения эффективности процесса приема сложных шумоподобных широкополосных сигналов. Действительно, к идее «третьей решающей схемы» (ТРС) (ее созданию, формированию, развитию) путь лежал (и лежит) через: «образование» – получение новых знаний на основе творческого анализа и применения

имеющихся в области теории систем сигналов (ТСС), прежде всего сложных шумоподобных широкополосных сигналов, в том числе, полученных в свое время, посредством личного научного общения основного автора (И. И. Сныткина) – неоднократно – с апологетами советской научной школы в области ТСС, к сожалению уже ушедших из жизни, такими, как: Л. Е. Варакин, В. Б. Пестряков, С. М. Свердлик, В. И. Журавлев и др.; «опыт» практического использования систем сложных сигналов (ССС) (в том числе разработанных И. И. Сныткиным новых видов широкополосных шумоподобных сигналов – фазоманипулированных (ФМ) псевдослучайных сигналов (ПСП) таких, как: нелинейные рекуррентные последовательности (НЛРП), производные НЛРП (ПНЛРП), составные НЛРП (СНЛРП), – в системах передачи информации (СПИ) прежде всего специального назначения, таких, как, например, космические радиолинии «Корунд», «Кристалл», «ГЛОНАСС» и др.); «творческое предвидение» (назовем его проявлением гениальности), позволившее преодолеть ряд парадоксов (о которых будет указано ниже) в области ТСС; «случай», проявившийся при машинном моделировании и исследовании корреляционных свойств и закономерностей различных типов, видов систем НЛРП, ПНЛРП, СНЛРП, и, в последствии, позволивший определить направления разработки запатентованных изобретений (способов, технических решений) реализации ТРС.

Думается, что не место в данной статье развернуто анализировать признаки и объем понятий: опыт, гений, парадокс, случай, изобретение. Просто ниже мы будем указывать («к месту») проявление признаков этих категорий (понятий) в ходе изложения результатов исследований.

Сущностную основу теории и практики ТРС составляет следующий «тезис» – детерминированность корреляционных функций (КРФ) (любых видов) широкополосных сигналов (ШПС) и использование свойств и закономерностей этой детерминированности. Хотя детерминированность КРФ ярко проявилась (и была установлена) прежде всего по отношению таких фазоманипулированных ШПС, которые используют производные и составные ПСП, но указанный «тезис» (как показывают исследования) может быть использован по отношению любых видов ШПС. Поэтому ТРС имеет широкое (если не «всеобъемлющее») теоретико-практическое применение в области теории и практики ШПС в целом. Об этом свидетельствует достаточно обширный объем публикаций и патентов на изобретения (приводимый ниже) на протяжении последних 20 лет. Но основу разработки методов ТРС составляет установление, исследование и использование свойств и закономерностей КРФ ШПС.

Хотя «детерминированность» КРФ любых ШПС является и объективным фактом, не раз в частных случаях устанавливаемым и используемым (с последней четверти XX века), публикуемым в работах известных и зарубежных и отечественных ученых – специалистов, но который до определенного времени (в том числе и до настоящего) у многих ученых, специалистов, вызывает совершенно незаслуженный «скепсис», основанный на устоявшихся научно-методических традициях, по отношению его реальной эксклюзивной новизны и требующий пересматривать всю имеющуюся систему научного, математиче-

ского моделирования процессов исследования свойств и применения ШПС в целом. Преодоление этого «скепсиса» является достаточно серьезной творческой проблемой, отдельным направлением «борьбы» в научно-профессиональной сфере основателя теории ТРС – профессора И. И. Сныткина. Данная статья, в том числе, является вкладом в эту «борьбу».

1. Системология классических категорий «первая» и «вторая» решающие схемы в теории и практике систем сигналов и систем передачи информации

1.1. Научно-технические признаки необходимого проявления и использования категорий ПРС, ВРС, ПФС и ВФС

Итак, что это такое ТРС? А что такое: «первая решающая схема» (ПРС), «вторая решающая схема» (ВРС) в теории и практике СПИ и в целом в теории связи? Ответы на эти вопросы лежат прежде всего в «классических» научных источниках прошлого (XX) века – надо сказать – бурного (с точки зрения развития теории и практики СПИ), основополагающего, давшего науке много нужных, важных понятий, категорий в указанной области, использование которых (как «кирпичиков») и позволило (и позволяет сейчас) создавать эффективные, перспективные СПИ. Но, к сожалению, в практической сфере (да и в теоретической сфере) сейчас наблюдается не только «незаслуженное», но и «вредное» забвение созданных наукой (в области СПИ) важнейших категорий и понятий, что приводит нередко, со стороны и руководителей, и узких специалистов, к ошибочным, неэффективным решениям и выбору путей развития СПИ. Примеров этому можно привести много.

К началу второй половины XX века ученые и практики в области систем передачи информации (СПИ) решили задачу «систематизации» процессов и задач анализа и синтеза СПИ, систем связи (СС), ТСС в целом с точки зрения унификации этих процессов и задач на основе формировавшихся и развивавшихся на протяжении предыдущих десятилетий *единых категорий и понятий*, например, таких, как: «сигнал», «оптимальный» и «неоптимальный» прием сигнала, «первичное кодирование» как «1-я формирующая схема» (ПФС), вторичное или «помехоустойчивое» кодирование (ПМУК) и декодирование (ПМУД), «модуляция» как «2-я формирующая схема» (ВФС), «демодуляция» как «1-я решающая схема» (ПРС), «первичное декодирование» как «2-я решающая схема» (ВРС) и многие другие, – которые получили системные признаки, например, в работах [1-11], а последние две (ПРС и ВРС) – и важное фундаментальное значение в теории и практике СПИ, СС [8, 9].

Обобщенный принцип использования ПФС, ВФС, ПРС, ВРС, ПМУК (ПМУД) в структурных схемах дискретных (а в последствии – цифровых) СПИ демонстрируются на рис. 1 (где пунктирные линии связи означают необязательность этих связей в общем случае).

Поэтому сначала поясним, что такое ПФС, ВФС, ПРС, ВРС, ПМУК (ПМУД).

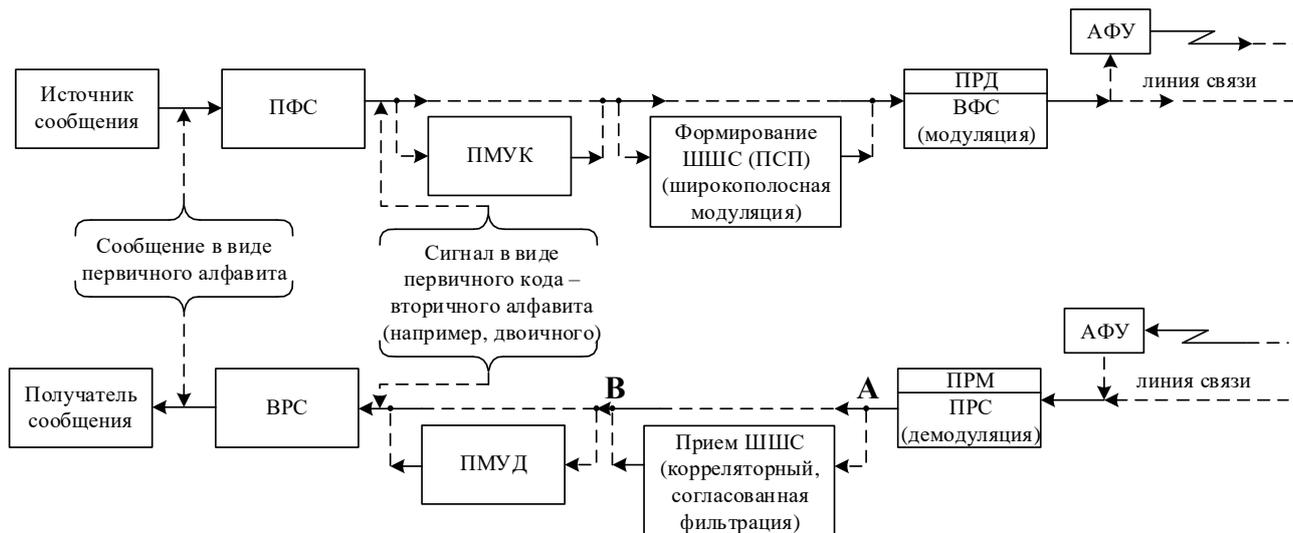


Рис. 1. Обобщенный принцип использования ПФС, ВФС, ПРС, ВРС, ПМУК (ПМУД), ШШС в СПИ

1.1.1. Необходимость категорий ПФС и ВРС, как реализация первой теоремы К. Шеннона (повышения информационной эффективности СПИ)

Разработка и применение методов ПФС и ВРС связано с необходимостью реализации 1-й теоремы К. Шеннона [11] по решению задачи максимизации информационной эффективности процесса передачи информации, а именно, смысл и сущность этой теоремы заключаются в следующем: «*всегда можно найти такой метод преобразования «первичного» (исходного) алфавита источника информации (ИИ) во «вторичный» алфавит, который приведет к максимальному приближению скорости передачи информации V_u между ИИ и получателем информации (ПИ) по каналу связи без помех (КСБП) к пропускной способности C КСБП, то есть $V_u \rightarrow C$* ». Такая операция (метод) называется «первичное кодирование» [3, 8, 11] (преобразование первичного – исходного – алфавита (ПА) во вторичный алфавит (ВА): $\{\text{ПА}\}_{i=1,\overline{n}} \Rightarrow \{\text{ВА}\}_{j=1,\overline{m}}$), где (i, j) – символы, а (n, m) – число символов – неделимых элементов – алфавитов ПА и ВА, причем $n > m$ (или $n \gg m$). Впоследствии (после К. Шеннона) в середине XX века этот процесс (этап, метод) получил название «первая формирующая схема» – ПФС – как схема, формирующая информационное сообщение во вторичном алфавите [1, 3, 4, 8, 10].

Какие научно-технические инструменты и за счет чего реализуется указанная выше задача? Инструментами реализации являются: различные первичные коды: $(2, 3, \dots, m)$ -элементные (m -ичные) многопозиционные коды ($K > 2$), например, простейший 2-элементный (двоичный) (с элементами-символами «1» и «0»), 5-ти позиционный ($K=5$) двоичный код, позволяющий кодировать все 32 символа русского (или латинского) алфавита ($32=2^5$ – число кодовых форм, соответствующих числу элементов ПА); – и способы кодирования – статистический, вероятностный, разнопозиционный и др. [3, 8]. Использование этих ин-

струментов позволяет исключить во вторичном сообщении (во ВА): взаимозависимость появления в первичном сообщении различных элементов ПА; статистическую или вероятностную зависимость появления элементов ПА в первичном сообщении и др., – что приводит к повышению «энтропии» ИИ, в частности относительной энтропии ИИ до $H_{\text{отн ИИ}} \approx 1$, что и соответствует решению вышеуказанной задачи: $V_{\text{И}} \approx C$, – согласно 1-й теоремы К. Шеннона. Такой процесс носит название «повышение информационной эффективности», вплоть до 100% ($H_{\text{отн ИИ}} = 1$) [11]. Принципиальным моментом применения ПФС является то, что указанный эффект ее применения может быть реализован теоретически только для «каналов без помех» (КСБП), так как помехи приводят к искажению передаваемых символов ВА, и тем самым – снижению энтропии у ПИ: $H_{\text{ПИ}} \downarrow$ и $V_{\text{И}} \downarrow$. Это не означает, что ПФС не используется в реальных каналах – каналах связи с помехами (КССП). Конечно же используется, но с меньшей эффективностью, чем в КСБП. Тем более, что деление каналов связи на КСБП и КССП – «условно-относительное», так как специалистам известно, что с точки зрения увеличения степени влияния помех (увеличения вероятности ошибки приема символа алфавита $P_{\text{ош}}$ по причине воздействия помех) все каналы связи по физической природе линий связи (среды распространения энергии электромагнитной волны (ЭМВ)) можно расположить в следующем порядке возрастания этой степени: проводные ($P_{\text{ош}}=10^{-6} \dots 10^{-5}$) → волоконно-оптические ($P_{\text{ош}}=10^{-5}$) → радио ($P_{\text{ош}}=10^{-4} \dots 10^{-2}$) (СВЧ → УКВ → КВ → СВ → ДВ → СДВ). И кроме того, влияние и уровень помех зависит от времени суток, года, метеоусловий и др. Итак, ПФС решает задачи повышения информационной эффективности (пусть и условно-относительного) в целом для любых каналов связи.

На приемной стороне операцию, обратную ПФС, решает вторая решающая схема (ВРС) – декодирование сообщения в первичном коде (во ВА) в сообщении в ПА – исходном алфавите. Почему вторая и почему решающая?

«Вторая» – с точки зрения этапа (шага) решающих действий на приемной стороне, а «решающая» – так как принимается решение о принятии конкретного символа первичного алфавита $\{\text{ПА}\}_i$ на основе операции первичного декодирования (рис. 2).

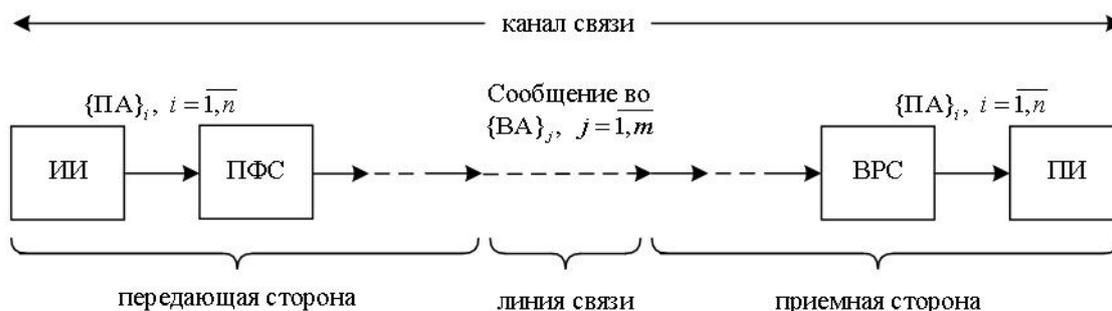


Рис. 2. Обобщенная схема канала связи

Такое решение принимается «вероятностно» на основе правил и критериев, учитывающих условия передачи информации, вид канала и линии связи, и используемых в теории оптимального приема на основе положений теории принятия решений [1-10].

1.1.2. Необходимость категорий ВФС и ПРС, как методико-инструментального пути метода повышения достоверности передачи информации (за счет повышения помехоустойчивости) любых СПИ

Разработка и применение методов ВФС и ПРС связано с необходимостью повышения помехоустойчивости (ПУ) процесса передачи информации (или просто канала связи), а следовательно – повышения достоверности (Д) и обеспечение необходимой дальности связи (ДС), так как $\{Д, ДС\} = f(ПУ): \{ПУ \uparrow \rightarrow Д \uparrow, ДС \uparrow\}$. ВФС осуществляет – на основе методов модуляции – перенос сообщения (во ВА) на «несущее» колебание ЭМВ («несущую» частоту $f_{нec}$). В зависимости от вида сообщения (аналоговое, дискретное, цифровое и т.п.) используются соответствующие методы модуляции, например: аналоговые – амплитудная (АМ), частотная (ЧМ), фазовая (ФМ); дискретные – такие же, только с заменой слова «модуляция» на «манипуляция»; импульсные – амплитудно-, время-, частотно-импульсные (АИМ, ВИМ, ЧИМ) и др.; цифровые – кодо-импульсная, дифференциально-импульсная, дельта-модуляция (КИМ, ДИКМ, ΔКИМ) и др. Среди всех методов модуляции выделяют «более помехоустойчивые», чем какие-либо другие. Так, например, частотные и фазовые методы более помехоустойчивые, чем амплитудные, но требуют больших задействуемых спектров частот (Δf), величины $f_{нec}$ и т.д. Импульсные, дискретные и цифровые методы обеспечивают большую дальность ДС, чем аналоговые и т.д.

На приемной стороне функцию обратную модуляции, то есть *демодуляцию*, осуществляет первая решающая схема – ПРС. «Первая» – потому, что она «первая» схема принятия решения о том, какой сигнал-символ вторичного алфавита $\{ВА\}_{j=1,m}$ был принят на приемной стороне на самом деле из тех, которые были отправлены с передающей стороны, и в целом – какое сообщение во ВА принято на самом деле. Это решение принимается так же «вероятностно» и с использованием такого же научно-методического аппарата, что и для ВРС (рис. 3).

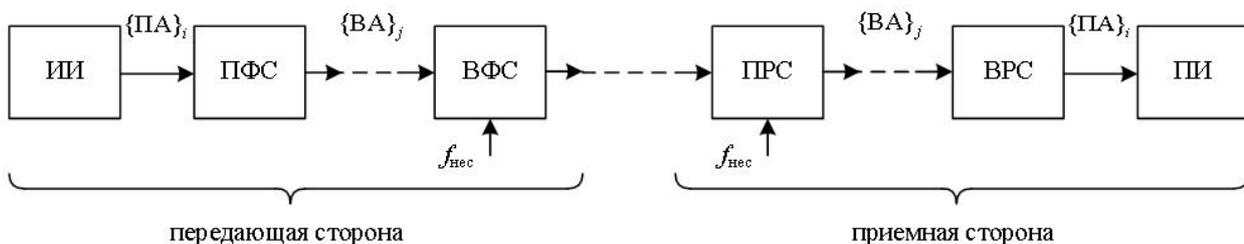


Рис. 3. Взаимосвязь ПФС, ВФС, ПРС, ВРС в обобщенной схеме канала связи

1.2. Теоретико-практические следствия необходимого решения задачи повышения достоверности передачи информации в дискретных и цифровых СПИ

1.2.1. Метод помехоустойчивого кодирования, как реализация второй теоремы К. Шеннона – повышения достоверности передачи информации

Широкое развитие дискретных СПИ во второй половине XX века, связанное с созданием и развитием систем передачи данных (СПД), вычислительных систем и сетей (ВСС), автоматизированных систем управления (АСУ), использовавших в основном проводные линии связи, привело к необходимости – в интересах значительного повышения достоверности передачи информации в условиях сохранения требуемой скорости передачи $V_{И}$ информации и фиксированной C КССП – разрабатывать научно-технические решения по реализации 2-й теоремы К. Шеннона [11], смысл которой трактуется так: *«всегда можно найти такой метод «вторичного» (помехоустойчивого) кодирования при сохранении скорости $V_{И}$ передачи информации, близкой к C ($V_{И} \rightarrow C$) в КССП, который обеспечит сколь угодно близкое приближение вероятности ошибки $P_{ош}$ приема символа вторичного алфавита к нулю: $P_{ош} \rightarrow 0$ »*. Вследствие того, что основным первичным кодом, массово используемым в СПД, АСУ, ВСС, стал двоичный код (с символами «1» и «0», называемых «битом»), то указанная $P_{ош}$ стала употребляться по отношению «бита»: $P_{ош, бит} \rightarrow 0$.

Первые три десятилетия после Второй Мировой войны в этой связи стал этапом бурного развития теории и практики помехоустойчивого кодирования (ПМУК): были разработаны различные типы и десятки видов ПМУКов (блочные, циклические и др.), применение которых реально приводит к значительному уменьшению $P_{ош}$ до уровня $P_{ош}=10^{-8}...10^{-12}$ [4, 9]. Основным инструментом ПМУК заключается в преобразовании на передающей стороне «потока» битов (сообщения во ВА) структурно так, чтобы можно было на приемной стороне (используя обратные ПМУК операции декодирования – ПМДК) или «обнаруживать», или «обнаруживать и исправлять» определенное число ошибочно принятых битов. Данное преобразование осуществляется методом создания системы «рабочих» и «запрещенных» кодовых форм (кодирующих символы ПА), анализ которых на приемной стороне (то есть установление факта, какая кодовая форма принята – «рабочая» или «запрещенная») и лежит в основе выполнения функций ПМУК и ПМДК. Создание системы «рабочих» и «запрещенных» кодовых форм несколько «удлиняет» (в битах) кодовые формы исходные, то есть приводит к незначительному уменьшению $V_{И}$, но зато существенно увеличивает достоверность (Д) и дальность связи (ДС). Поэтому в СПИ в настоящее время методы ПМУК (несмотря на всю их сложность) и системы помехоустойчивых кодов широко используются не только в проводных, но и в радиальных СПИ, например, такие коды, как: циклические, Хаффмана, Боуза-Чоудхури-Хоквингема (БЧХ), Рида-Соломона и др. [4, 9, 16].

1.2.2. Разработка и использование сложных сигналов, как метод повышения достоверности передачи информации (помехоустойчивости, скрытности, имитостойкости)

Вторая половина XX века характеризовалась и бурным развитием дальней радиосвязи (особенно в коротковолновом (КВ) диапазоне радиоволн – наиболее экономичном), освоением новых диапазонов ЭМВ: ультракоротких волн (УКВ) и сверхвысоких частот (СВЧ) радиоволн, – появлением и развитием средств и систем радиоэлектронной борьбы (РЭБ). И по отношению таких радиотехнических СПИ стали ужесточаться требования по параметрам: помехоустойчивости, помехозащищенности от преднамеренных помех, скрытности, имитостойкости процесса передачи информации [5, 6, 10, 16].

Выполнение этих требований привело к разработке и применению новых видов сигналов – систем сложных сигналов (ССС) – широкополосных или шумоподобных сигналов (ШШС или ШПС), которые решали (и решают) задачи: борьбы с явлениями многолучевости и замираниями в КВ-радиосвязи, построения асинхронно-адресных систем радиосвязи, повышение помехоустойчивости и помехозащищенности от преднамеренных помех (в том числе скрытности, имитостойкости), криптоустойчивости и др. Основным фактором, лежащим в основе решения указанных задач, является значительное увеличение базы B сигнала, $B = (\Delta F \cdot T) \uparrow$, (ΔF – ширина спектра частот, T – время существования сигнала) за счет расширения прежде всего $\Delta F \uparrow$ (отсюда термин – «широкополосный»). И вследствие постоянства энергии сигнала $\mathcal{E}_c = P_{\Delta F_c} \cdot \Delta F_c = \text{const}$, где $P_{\Delta F_c}$ – спектральная плотность мощности сигнала, возникает эффект «размазывания» – распределения энергии \mathcal{E}_c по спектру ΔF_c так, что $P_{\Delta F_c}$ становится сравнимо со спектральной плотностью мощности помех типа «белый шум» (БШ) $P_{\Delta F} \approx (P_{\text{п}})_{\text{БШ}}$ (рис. 4, а, б) (отсюда термин «шумоподобный»). На приемной стороне (рис. 4, в) осуществляется «сворачивание» («собираение») энергии сигнала по спектру ΔF так, что появляется мощный «всплеск» энергии сигнала (на интервале времени $\Delta t \approx 1/B$) величиной, равной \mathcal{E}_c , то есть $\mathcal{E}_c \approx B \cdot P_{\Delta F_c}$, значительно превышающей (в B раз) энергию помехи (шума) на этом интервале Δt времени перед схемой принятия решения. Этот фактор и позволяет значительно повышать помехоустойчивость, оцениваемую или по энергетическому критерию – «отношению энергии сигнала к энергии помехи (шума)» в полосе частот пропускания приёмника (отношение «сигнал/помеха» (с/п)), – или по вероятностному критерию – вероятности ошибки $P_{\text{ош.бит}}$ (как функции от отношения с/п, $P_{\text{ош.бит}} = f(\text{с/п})$, то есть при $(\text{с/п}) \uparrow \rightarrow (P_{\text{ош.бит}}) \downarrow$), так что $(\text{с/п})_{\text{вых ПРМ}} \approx B \cdot (\text{с/п})_{\text{вх ПРМ}}$ [5, 7, 10].

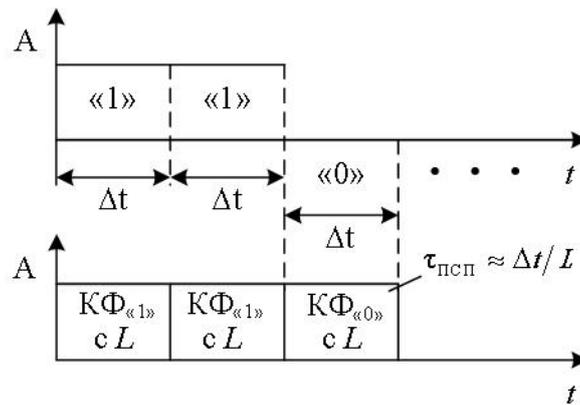


Рис. 5. Временная модель представления битов кодовыми формами ШПС. Обозначение на рисунке: L – длительность КФ

Кодовые формы ШПС могут быть: временные, частотные, частотно-временные.

Временные кодовые формы представляют собой кодовые рекуррентные псевдослучайные последовательности (ПСП) в общем случае « m »-ичных символов ($m = 2, 3, \dots$), но чаще всего $m = 2$ (символы «1» и «0» ПСП), *число символов в ПСП называется длительностью L ПСП* (рис. 6, а) [5, 6, 12]. Именно L ПСП и отождествляется с базой $B_{\text{ШПС}}$ вследствие того, что «спектр» частот Δf символа ПСП длительностью $\tau_{\text{ПСП}} = \Delta t/L$ (при использовании преобразования Фурье) будет равен $\Delta f_{\text{ШПС}} \approx 1/\tau = L/\Delta t = L \cdot \Delta f_c$, $\Delta f_c = 1/\Delta t$ – спектр частот информационного сигнала во ВА, то есть $L \approx B_{\text{ШПС}}$ (на рисунке $\Delta t = T$). Тем самым увеличивая $L \uparrow$, увеличивается $\Delta F \uparrow$ и соответственно $B \uparrow$ (рис. 6, а). При этом предполагается, что несущие колебания ($f_{\text{нес}}$) манипулируются ПСП по фазе (ФМ).

Частотные кодовые формы представляют собой изменяющиеся по какому-либо закону (линейному, нелинейному и др.) частоты колебаний, модулирующих в пределах времени Δt (информационного символа во ВА) несущее колебание $f_{\text{нес}}$. Поэтому такие ШПС получили название, например: ЛЧМ (линейно-частотно модулированные) -сигналы, НЛЧМ (нелинейно-частотно модулированные) -сигналы и др. (рис. 6, б).

Частотно-временные кодовые формы представляют собой частотно-временные матрицы (ЧВМ), формы которых соответствуют «1» и «0» информационного сигнала во ВА. При этом перестройка частоты в ЧВМ осуществляется по псевдослучайному закону (псевдослучайная перестройка радиочастоты – ППРЧ) так, что КФ_{«1»} и КФ_{«0»} соответствуют: или одной и другой формам (структурам) ЧВМ, и тогда такие законы называют – «быстрая ППРЧ» (БППРЧ) (рис. 6, в); или «1» и «0» соответствуют отличные друг от друга наборы (формы) частот

$\left\{ f_{i, i=1, n} \right\}_{\text{«1»}}, \left\{ f_{j, j=1, m} \right\}_{\text{«0»}}, n \begin{cases} = \\ \neq \end{cases} m$, и тогда такие законы назы-

вают «медленной ППРЧ» (МППРЧ) (рис. 6, г). Законы смены частот в ППРЧ основаны на использовании кодовых рекуррентных последовательностей (КРП), ПСП, теории чисел и теории конечных полей, поэтому, например, ЧВМ

в виде БПРЧ стали называться кодо-дискретно-частотными сигналами (КДЧС) [5, 9, 10, 13].

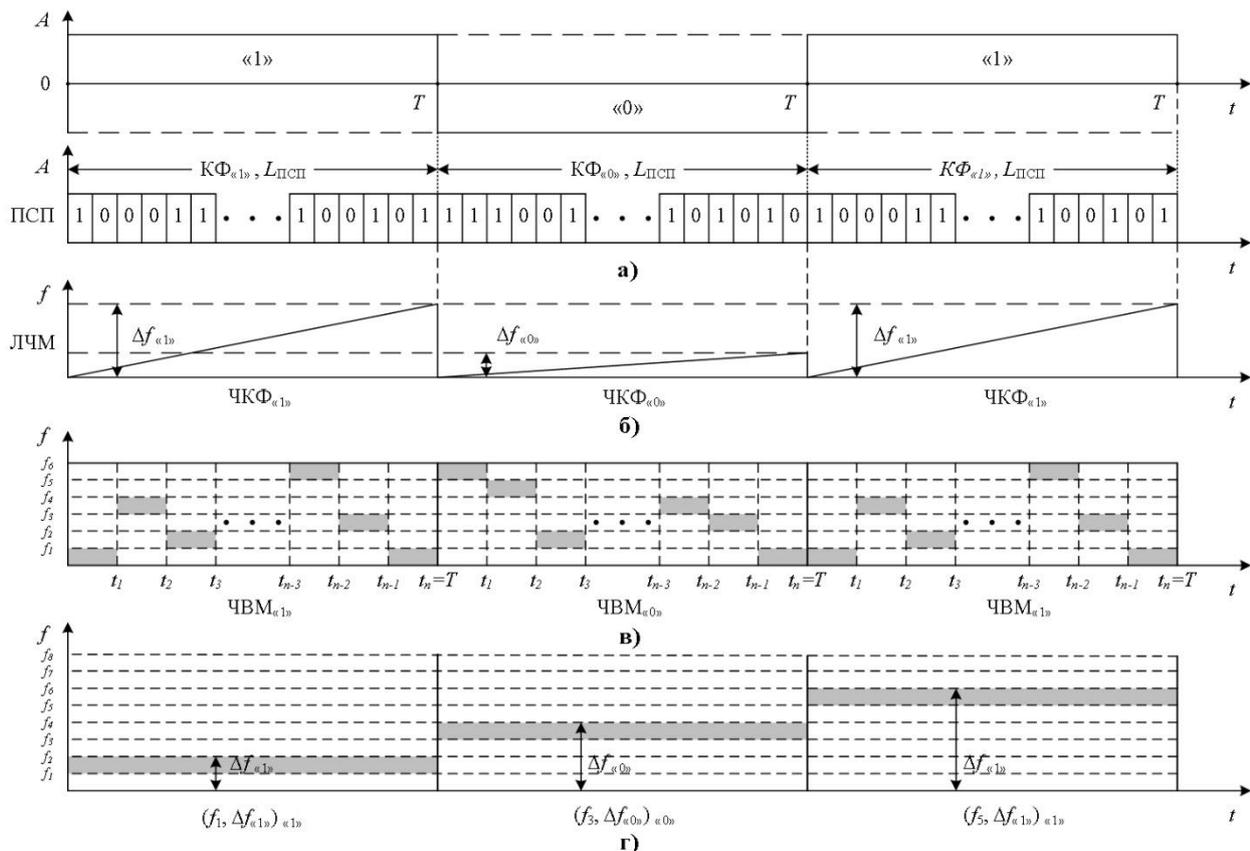


Рис. 6. Модель формирования кодовых форм ШПС: временные КФ (а); частотные КФ (б); частотно-временные КФ в виде «БПРЧ» (в); частотно-временные КФ в виде «МППРЧ» (г)

Кодовые формы ШПС призваны в том числе обеспечить необходимые скрытность, имитостойкость, криптоустойчивость СПИ. Кроме того, частоты в ЧВМ могут дополнительно манипулироваться по фазе «своими ПСП», и тогда такие ЧВМ приобретают «эксклюзивные» свойства и качество по помехоустойчивости, скрытности, имитостойкости.

Каждый из указанных видов ШПС (ПСП, ЛЧМ, ЧВМ и т.д.) представляют собой предмет и существо отдельных самостоятельных теорий и практик применения в СПИ в объеме общей теории систем сигналов и теории ШПС, включающих в себя составные области теорий: синтеза, формирования и генерирования, исследования свойств (ансамблевых, корреляционных, помехоустойчивости, скрытности, имитостойкости и др.), приема (поиска, обнаружения, синхронизация, обработки) и принятия решения, разработки соответствующих способов и технических решений (аппаратных, программных, программно-аппаратных). Взаимосвязь и взаимозависимость этих областей можно адекватно проследить по таким трудам ученых-классиков, как [1, 4-7, 10].

Нас же прежде всего будет ниже интересовать в этой связи роль и место ШПС в существе понятия и категории «третья решающая схема» (ТРС) и взаимосвязи ТРС с ПРС и ВРС.

2. Необходимость, возможности и функциональная основа новой категории – «третья решающая схема» – как путь повышения достоверности и эффективности СПИ со сложными сигналами

2.1. Сложные сигналы и требования ГОСТ Р ИСО 7498-2-99

Прежде всего, укажем на следующий важный аспект. Такие вышеуказанные категории как ПФС и ВФС, ПРС и ВРС (рис. 1) необходимо используются в любых СПИ (аналоговых, дискретных, цифровых), а вот использование категорий ПМУК, ШПС (ШПС) в СПИ в общем случае казалось бы не является обязательным, а – только в тех СПИ, к которым предъявляются повышенные, специальные (и эксклюзивные) требования по помехозащищенности (помехоустойчивости, скрытности, имитостойкости), криптоустойчивости, информационной безопасности. Однако развитие актуального процесса необходимой, обязательной защиты информации в открытых СПИ, определенной и сформулированной в 1999 г. в РФ в виде соответствующих методов и механизмов в объеме ГОСТа [17] с учетом протокола X.25 международного объединения ISO, введшем 7-ми уровневую модель логической структуры (ЛС) архитектуры открытых СПИ [18], использование отмеченных категорий (ПМУК, ШПС, ПСП и т.д.) стало по существу и обязательным, и необходимым. И кроме того, категории ПФС, ВФС, ПРС, ВРС (несколько «ушедших в тень» в два-три десятилетия рубежа XX и XXI веков из практики профессионального общения специалистов) приобрели заметные признаки необходимого «возрождения» и в образовательном, и в научно-техническом процессах. Это связано с тем, что необходимость обеспечения защиты информации на всех уровнях логической структуры СПИ (и прежде всего – транспортной системы – первых 4-х уровнях ЛС) привело к такой же необходимости логической технико-алгоритмической систематизации всех процессов представления, формирования, передачи, приема, обработки информационных сообщений в интересах эффективного защищенного информационного процесса в СПИ [18].

Поэтому наделение процессов ПМУК (ПМУД), формирования и приема ШПС системными терминологическими признаками с точки зрения формирования и приема сообщений являются важным и актуальным. И если ПМУК (ПМУД) само по себе (терминологически) говорит само за себя и «работает» в рамках задачи обеспечения только помехоустойчивости (вторая теорема К. Шеннона) и участвует в повышении качества ВРС, *то с применением ШПС (и прежде всего ФМ-ПСП, КДЧС) дело обстоит и сложнее, и многограннее. Это связано с тем, что ШПС в целом используются не только для повышения помехоустойчивости, борьбы с замираниями и многолучевостью, но и для обеспечения скрытности, имитостойкости, криптоустойчивости, информационной безопасности (то есть защиты информации согласно ГОСТа [17]), и не только на первых двух уровнях (физическом и узловом), но и на третьем, четвертом (сетевом и транспортном) и на пятом-шестом (пользовательских) уровнях ЛС модели ISO. Поэтому «формирование» (как процесс) ШПС (ПСП, КРП, КДЧС и др.) с заданными свойствами и характеристиками можно (и*

уже давно нужно) трактовать как «третья формирующая схема» (ТФС), во-первых, в виду важности и объема задач, решаемых для СПИ посредством применения ШПС и «необходимости» их для построения СПИ специального назначения, а во-вторых, вследствие того, что ШПС – это другой – отличный от УПС – сигнал и по характеристикам, и по свойствам, и по решаемым системным задачам. Но развитие и анализ категории «ТФС» – отдельный вопрос, не связанный с направлением данной статьи. В этой связи ограничимся только констатацией того факта, что использование, формирование ШПС является важнейшим фактором обеспечения помехозащищенности СПИ в настоящее время.

2.2. Роль и место ТРС в повышении эффективности процесса приема-обработки сложных сигналов и повышения достоверности передачи информации

Не менее важным (если не более?) фактором в указанном направлении использования ШПС является процесс приема и обработки ШПС (обнаружение, поиск, синхронизация, достоверный прием-обработка и принятие решения «свой-чужой» сигнал). На рис. 1 указано, что этот процесс реализуется или корреляторным методом (КМ), или методом согласованной фильтрации (СФ), которые основываются на использовании свойств и характеристик корреляционных функций: автокорреляционных (АКФ), взаимокорреляционных (ВКФ), стыковых корреляционных функций (СКФ) (рис. 7).

Основной принцип, лежащий в основе процедур приема ШПС, заключается в фиксации во времени появления основного пика (ОП) АКФ (во временной или частотно-временной плоскостях) при полном совпадении КФ входящего (принимаемого) ШПС и его копии на приемной стороне. Уровень ($A_{\text{ОП}}$) ОП АКФ полностью пропорционален базе B ШПС ($A_{\text{ОП}} \approx B$), а время его существования $\tau_{\text{ОП}}$ – обратно пропорционально B ($\tau_{\text{ОП}} \approx 1/B$). Эта фиксация (то есть прием ОП) есть факт приема «нашего» сигнала (то есть принятия решения «есть наш сигнал»). Достоверность (D) этого решения основывается на использовании критериев, оценивающих соотношение между уровнем ОП ($A_{\text{ОП}}$) и уровнем $A_{\text{БВ}}$ «боковых выбросов» (БВ) («боковых лепестков») АКФ, $D=f(A_{\text{ОП}}/A_{\text{БВ}})$: чем больше относительное превышение уровня ОП над уровнями БВ, тем больше достоверность принятия решения, тем «качественнее» вид ШПС: $(A_{\text{ОП}}/A_{\text{БВ}}) \uparrow \Rightarrow D \uparrow$. В этой связи основная задача синтеза видов ШПС заключается в обеспечении максимально возможного превышения уровня ОП над уровнем БВ при фиксированной базе B (то есть L , например, ПСП). При этом в ТСС принято считать, что «оптимальным» это превышение является у М-последовательностей (МП) (последовательностей максимальной длины L_{max} , генерируемых регистрами сдвига (РС) с линейными обратными связями (ЛОС), $L_{\text{max}}=2^n-1$, где n – число ячеек РС с ЛОС) [5, 6, 10]. Поэтому «близкие» к МП по этому критерию принято называть или «квазиоптимальными» (то есть почти оптимальными) или оптимальными видами ШПС [12].

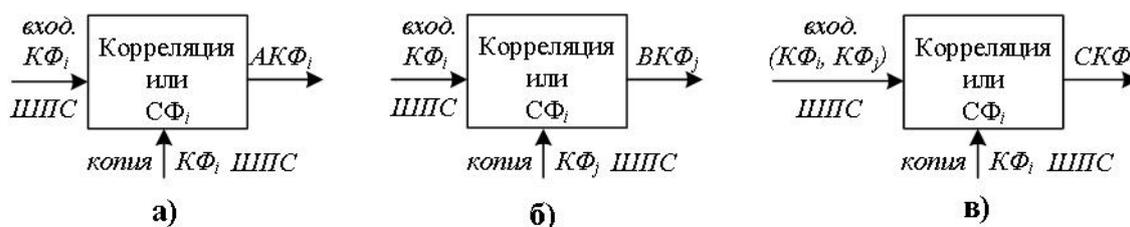


Рис. 7. Варианты операции корреляции кодовых форм (КФ) ШПС и их копий на приемной стороне

При этом принципиальным классическим положением использования корреляционных функций (КРФ) является то, что КРФ – автокорреляционные (АКФ), взаимокорреляционные (ВКФ) и стыковые (СКФ) – трактуются в теории ССС как случайные функции времени на том основании, что сами ССС для наблюдателя-получателя трактуются случайными, а для источника – псевдослучайными. Поэтому все указанные методы и процедуры приема ССС основаны на использовании детерминированных оценок (математическом ожидании, дисперсии и т.д.) значений случайных $A_{БВ}$ и $A_{ОП}$ АКФ, получаемых при полном совпадении «форм» сложного сигнала, принимаемого и его копии на приемной стороне. В этой связи используемые при приеме ССС различные критерии, методы и процедуры оптимального или неоптимального приема ССС и основываются как раз на этом факторе, а именно: наличие или отсутствие в какой-либо момент времени (поиска, вхождения в синхронизм, приема-обработки) $A_{ОП}$, значение которого сравнимо с базой сигнала $A_{ОП} \approx B_{ССС}$ [5, 6], при незначительных случайных значениях $A_{БВ}$, составляющих для оптимальных ССС $\approx (0,1...0,3)/\sqrt{B_{ССС}}$ АКФ [5, 6]. Такая позиция вполне приемлема и справедлива, если считать, что информация о совпадении «формы» принимаемого сигнала и его копии на приемной стороне заложена только в факте наличия и появления ОП АКФ.

Справедливость такой позиции основана в том числе и на том, что в качестве ССС выступали (до определенного времени) в основном простые ПСП, имеющие «линейную» структуру, например, М-последовательности (длительности $L = 2^n - 1$, $n = 2, 3, \dots$) и их разновидности, и – «нелинейную» структуру в виде «полных кодовых колец» длительности $L = 2^n$, структура КФ которых с большей долей достоверности признается случайной (псевдослучайной) [5, 7].

Такой научно-технический подход к реализации процедур приема-обработки ШПС (в виде ФМ-ПСП) был, с одной стороны, удобным и довольно простым технически, в том числе легко «переносимым» на процесс приема-обработки других видов ШПС – радиочастотных, ППРЧ, КДЧС, а с другой стороны, не требовал детального изучения и исследования свойств и характеристик КРФ ШПС, признавая «условно» КРФ – случайными. «Условность» этого признания определяется, во-первых, тем фактом, что «львиная» доля видов КРП признается (справедливо) – псевдослучайными (то есть «случайными – для «стороннего наблюдателя» (СН) и вполне детерминированными для «нас»), и во-вторых СН при приеме «наших» ШПС использует те же методы и научно-

технологический аппарат, что и «мы» (до тех пор, пока СН не преодолеет «скрытность» структуры КРФ «наших» ПСП и не сможет осуществлять их «имитирование»). *Хотя строго говоря, КРФ ШПС (любых) являются – детерминированными функциями, так как формирование ШПС осуществляется вполне и однозначно детерминировано с использованием детерминированного математического аппарата, и корреляционный процесс по отношению детерминированных функций не может быть случайным, он – однозначно детерминирован. Но в теории ССС этот процесс признается случайным! Что это – парадокс или глупость, или условность? И детерминированность КРФ любых ШПС – это строго говоря, объективный факт, и этот факт, как «новый тезис», можно было бы использовать при процедурах приема-обработки ШПС. Но... «каждому овощу – свое время», как справедливо устанавливает известная поговорка.*

2.3. Актуальность и необходимость исследований детерминированности КРФ ШПС в целом и ПНЛРП в частности в интересах развития теории и практики ТРС

Первый «звоночек» с точки зрения использования детерминированности КРФ ШПС был, «как случайная гениальность», осуществлен при организации процедур приема так называемых ЛРД-кодов (линейных рекуррентных дальномерных кодов-последовательностей), использовавшихся в дальней космической радиолокации [14], что позволило значительно сократить (ускорить) время приема-обработки таких ШПС. ЛРД-коды представляют собой производные М-последовательности (ПМП), формируемые посредством циклического сложения по «модулю два» двух М-последовательностей разных длительностей $L_1 = 2^{n_1} - 1$ и $L_2 = 2^{n_2} - 1$, $n_1 \neq n_2$, так что длительность ПМП есть $L_{\text{ПМП}} = L_1 \cdot L_2 \gg (L_1, L_2)$ [14]. При автокорреляционном анализе на приемной стороне отраженных (от космических объектов) ЛРД-кодов был установлен факт «детерминированного» появления (по времени и амплитуде) боковых выбросов АКФ, что и привело к созданию соответствующих процедур ускоренного приема ПМП. Этот научно-технический факт был впоследствии использован автором, И. И. Сныткиным, для создания эффективных (ускоренных) процедур синхронизации и приема «сверхдлинных» ШПС (любого вида) [19]. В работах [2, 5, 6, 10] рассматриваются процедуры ускоренной синхронизации, повышения достоверности приема ШПС в виде «ФМ-МП» за счет учета «блочной» структуры МП различных L (любая МП фиксированной $L = 2^n - 1 = \text{const}$ имеет «свою» фиксированную структуру различных по форме блоков битов (блок – это фиксированная структура последовательности битов – «1» и «0» – определенной длительности l_i , а именно: число и виды блоков, их последовательность появления и др.) при реализации корреляционных процедур приема и синхронизации «ФМ-МП». *Эти процедуры использовали «блочные» АКФ (хотя и не были так названы авторами) и «детерминированность» появления их ОП.*

В дальнейшем, тем же автором, И. И. Сныткиным, при разработке таких видов КРП-ПСП как составные, производные нелинейные рекуррентные после-

довательности (СНЛРП, ПНЛРП), идеи, изложенные в [14, 19], «тлели» творчески, пока не получили конкретные целевые установки на установление и исследование детерминированности КРФ СНЛРП, ПНЛРП, а затем и на разработку метода и способов приема-обработки ПНЛРП, названными «третья решающая схема» (ТРС).

Основная сущность ТРС заключается в следующем.

Установленная и опубликованная авторами, например, в [20-22], как раз детерминированность структуры КРФ ПНЛРП позволяет:

- 1) трактовать и использовать КРФ (АКФ и ВКФ) как информационный сигнал, несущий информацию о структуре, то есть форме, именно ПНЛРП, а, следовательно, использовать такую детерминированную КРФ для принятия решения – о информационном «бите» («1» или «0»);
- 2) использовать свойства детерминированности АКФ – при приеме ПНЛРП – для реализации нового вида «разнесенного» приема – «разнесения по форме» [22] для повышения достоверности приема и принятия решения (по образу и подобию используемых классических видов разнесенного приема: по пространству, частоте, времени, – впервые системно теоретически изложенных в [16]).

Указанные возможности использования детерминированности АКФ ПНЛРП для процесса приема, обработки ПНЛРП (в виде функциональной категории) в теории приема ССС получили название «третья решающая схема» (ТРС), оригинальные теория и практика которой развивается более 20 лет (прежде всего соавторами данной статьи) в объеме большого числа теоретических трудов, изобретений, практического внедрения в СПИ с ССС, в том числе в приводимом ниже списке литературы [20-28].

3. Этапы, сущность и результаты развития теории и практики ТРС

На рис. 8 приведена обобщенная структурная схема места и принципа использования ТРС в процессе приема-обработки ПНЛРП, как функционального блока приема ШШС, указанного на рис. 1. Основная сущность ТРС заключается в том, что она или заменяет, или дополняет классический блок приема ПСП (участок точек А-В на рис. 1, 8), образуя или два, или три канала приема-обработки ПСП вместо одного. Тем самым образуется два или три независимых канала приема-обработки ПСП, «разнесенных по форме» обрабатываемых ПСП: форма 1 – структура ПНЛРП, формы 2, 3 – структуры соответственно НЛРП-1, НЛРП-2 (образующих ПНЛРП). Такой новый вид разнесенного приема «по форме» [23], дополняющего классические методы разнесенного приема [15] (в пространстве, по частоте, по времени), также (как и классические методы разнесения) повышает достоверность приема и скорость принятия решения «свой-чужой» сигнал за счет как увеличения итогового отношения «сигнал-помеха» в решающей схеме, так и реализации «разнесения по каналам приема», эффективность которого оценивается по теореме Пуассона [15]. Функциониру-

вание ТРС и ее сущность основывается на использовании свойств детерминированности КРФ ПНЛРП [23-25].

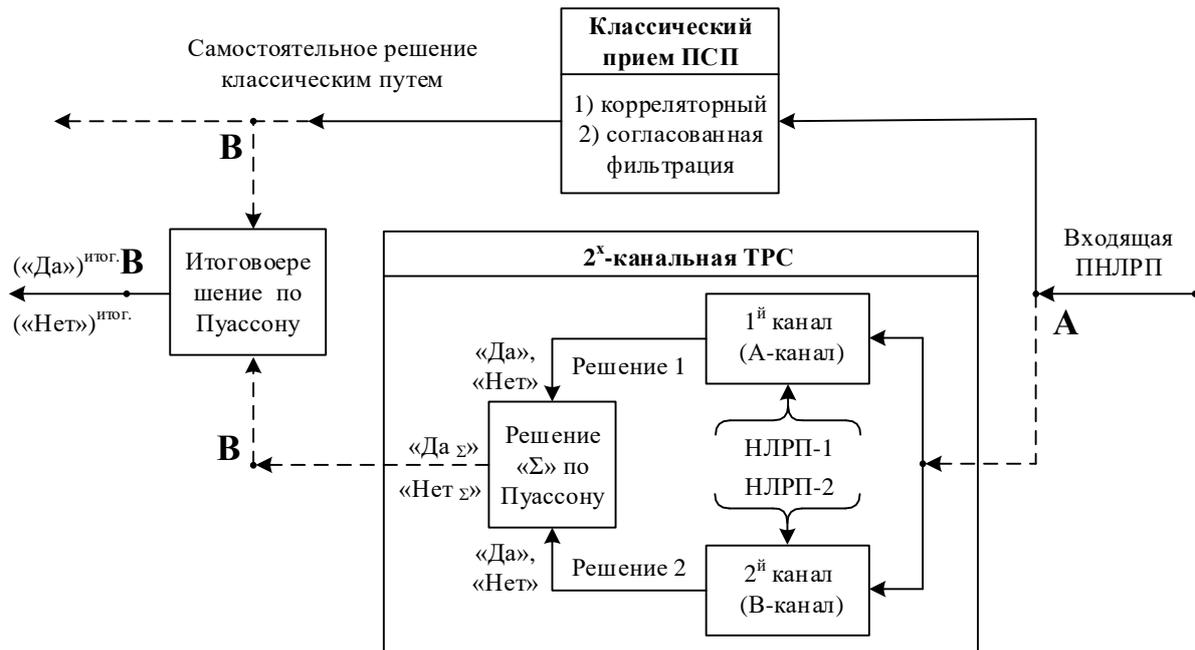


Рис. 8. Обобщенная структурная схема места и состава ТРС

В таблице 1 демонстрируется, а в [22] подробно рассматривается, в рамках 7-ми уровневой модели логической структуры открытых СПИ, место известных категорий – ПРС и ВРС, и новой категории – ТРС в объеме функций и задач транспортной системы – первых 4-х уровней 7-ми уровневой модели ISO [17, 18].

Таблица 1 – Место «известных» и «новых» понятий и категорий в 7-уровневой базовой модели логической структуры открытых СПИ

Уровни и форма представления информации	Применение известных категорий информации*	Использование новых категорий (возможно дополнительно)*
Уровень 7. Управление процессами (элементарное сообщение)	Представление информации	Услуги и механизмы защиты информации согласно ГОСТа [17] (3)
Уровень 6. Управление представлениями (сложные сообщения)	Представление информации в виде сложных сообщений (2)	Услуги и механизмы защиты информации согласно ГОСТа [17] (3)
Уровень 5. Управление сеансом (кодирование последовательность символов)	Кодирование, декодирование сообщений (2)	Услуги и механизмы защиты информации согласно ГОСТа [17] (3)
Уровень 4. (Транспортный): Сквозная транспортировка данных между ПРУ; установление и разъединение соединения; обнаружение ошибок доставки и восстановление работы после ошибок. («ИЧ»+ «АЧ» +»СЧ»)	Кодирование «служебной части» (СлЧ), декодирование «СлЧ» (2)	Услуги и механизмы защиты информации согласно ГОСТа [17] (3)

Уровни и форма представления информации	Применение известных категорий информации*	Использование новых категорий (возможно дополнительно)*
<i>Уровень 3. (Сетевой):</i> Организация логического соединения посредством оформления пакетов, адресация и маршрутизация пакетов. («ИЧ» + «адресация кодовая» + «маршрутизация кодовая»)	Кодирование «адресной части» (АЧ), декодирование «АЧ» (2)	Услуги и механизмы защиты информации согласно ГОСТа [17] (3)
<i>Уровень 2. (Канальный):</i> Пересылка блоков данных; инициация, идентификация сегментирования; тактовая и кадровая синхронизация; контроль и исправление ошибок; управление передачей; доступ к физическому каналу (уровню); обнаружение, предотвращение и разрешение конфликтов. (Последовательность кодовых посылок (2-ичных, n -ичных)) и др. «ИЧ»+ «АЧ» +»СЧ»	Помехоустойчивое кодирование, синхронизация цикловая, поиск, захват сигнала, корреляционная функция (2)	Услуги и механизмы защиты информации согласно ГОСТа [17] (3) Разнесенный прием «по форме» (3)
<i>Уровень 1. (Физический):</i> Установление, поддержание, разрыв физического соединения между канальными уровнями; захват передача и приём битового информационного потока по физической среде посредством ШПС. (ЭМВ, ВЧ-колебания, модулированные (АМ, ЧМ, ФМ) ВЧ-колебания.	Сигнал, модуляция (демодуляция), оптимальный (неоптимальный) прием, синхронизация тактовая, когерентный (некогерентный) прием, поиск, обнаружение, захват и др., корреляционная функция (1)	Услуги и механизмы защиты информации согласно ГОСТа [17] (3) Разнесенный прием «по форме» для поиска, обнаружения, захвата, тактовой синхронизации, цикловой синхронизации и структурирования пакета. (3)

Примечание: * – в скобках дан номер решающей схемы для перехода с предыдущего уровня: ПРС – (1), ВРС – (2), ТРС – (3); ИЧ, АЧ, СЧ – соответственно, информационная, адресная, служебная часть пакета

Детерминированность структуры АКФ ПНЛРП (как показали исследования авторов, например, в [20-22]) проявляется в следующем:

- 1) боковые выбросы (БВ) АКФ имеют детерминированные значения и детерминированное число этих значений: $A_{БВ} = \det$, $N_{A_{БВ}} = \det$;
- 2) моменты появления конкретных по значению $A_{БВ}$ АКФ строго детерминированы на временной оси: $t_{i, A_{БВ}} = \det$;
- 3) значения (уровни) $A_{БВ}$, число их различных значений $N_{A_{БВ}}$ и моменты их появления на временной оси $t_{i, A_{БВ}}$ строго соответствуют структуре ПНЛРП: числу порождающих ПНЛРП элементов (простых НЛРП), называемым «кратностью», их длительностям l_i , и видам каждой порождающей НЛРП: НЛРП₁, НЛРП₂.

Поэтому конкретная, то есть детерминированная структура АКФ ПНЛРП строго соответствует структуре ПНЛРП, то есть ее конкретной «форме». Следовательно:

- 1) структуру АКФ ПНЛРП как детерминированную функцию времени, $f_{\text{АКФ ПНЛРП}}(t) = \det$, формирующуюся на приемной стороне при реализации известных (классических) процедур приема СС можно и нужно использовать как «информационный сигнал» для повышения качества (эффективности) приема СС в виде создаваемого или

«самостоятельного», или «дополнительного» – третьего «канала-схемы» принятия решения «свой-чужой», именуемого как ТРС [22], помимо ПРС и ВРС. При этом ТРС представляет собой «новый» вид – метод разнесенного приема (как путь повышения достоверности приема – принятия решения), а именно – «метод разнесения по форме», где «форма» – это структура ПНЛРП и ее АКФ. В работе [22] дается подробный анализ признаков, сущности и основных категорий, понятий ТРС;

- 2) детерминированность структуры АКФ ПНЛРП имеет (естественно) свойства и закономерности, которые можно и нужно использовать для реализации и повышения эффективности самой ТРС на всех этапах приема ПНЛРП как ССС: поиска, обнаружения, захвата, синхронизации, достоверного принятия «итогового» решения «свой-чужой»;
- 3) так как структура АКФ ПНЛРП (как было указано выше) определяется «кратностью», длительностями l_i составляющих (порождающих) элементов (простых НЛРП) и их видами (согласно [12]), то естественно свойства и закономерности детерминированной АКФ ПНЛРП необходимо исследовать именно с позиций этих признаков-факторов: «кратности», различия l_i и видов порождающих ПНЛРП сигналов – НЛРП, что и определяет виды, типы, группы ПНЛРП в том числе [23].

В работе [23] приводятся, анализируются, классифицируются виды, типы, группы *двукратных* (ДК) ПНЛРП, порождаемых двумя НЛРП: НЛРП₁ с l_1 и НЛРП₂ с l_2 , (в качестве которых выступают, согласно [12], – коды квадратичных вычетов, характеристические коды и др., существующие в полях Галуа – простых и расширенных – GF(p), GP(pⁿ), p – простое число) [13]. Там же [22, 23] в том числе указывается, что реализация ТРС для приема ДК ПНЛРП основывается на использовании – как сигнала – не классической АКФ (как это делается при классических ПРС и ВРС), а – частных АКФ (ЧАКФ), что позволяет рассматривать алгоритмическую 2-х канальную схему реализации ТРС в виде на рис. 9.

На рис. 9: КР – коррелятор, СФ – согласованный фильтр, h_0^2 – отношение «сигнал-помеха» (с/п) на входе ТРС, $B_{k_1}^* = l_2^3 / ((3...2) \text{НОД}_{l_1, l_2})$, $B_{k_2}^* = l_1^3 / ((3...2) \text{НОД}_{l_1, l_2})$ – «базы» приема в каналах 1 и 2 (k_1, k_2) разнесения по форме, $B_{\text{рез}}^* = B_{k_1}^* + B_{k_2}^*$; $h_{k_1, i}^2, h_{k_2, j}^2$ – отношение с/п в ветвях i, j разнесения по форме, НОД – наибольший общий делитель (l_1, l_2).

Если для классического приема ШШС выигрыш в отношении «с/п» на выходе блока приема ШШС составляет $\approx B_{\text{ПСП}}$, то в нашем случае $\approx B_{\text{ПСП}} = B_{\text{ПНЛРП}} = (l_1 \cdot l_2) / \text{НОД}_{l_1, l_2}$, следовательно ТРС позволяет увеличить от-

ношение «с/п» на выходе блока приема ШПС в $\left(\frac{B_{рез}^*}{B}\right)_{рез}$, то есть в $B_{рез}^* = \left(l_2^3 / ((3...2)НОД_{l_1, l_2}) + l_1^3 / ((3...2)НОД_{l_1, l_2})\right) / (l_1 \cdot l_2)НОД_{l_1, l_2} = \dots = (l_1 + l_2) / (3...2)$ раз. И этот выигрыш, как видно, значительно растет с ростом длительностей l_1, l_2 , составляя в целом неравенство $\left(\frac{B_{рез}^*}{B}\right)_{рез} \gg B$.

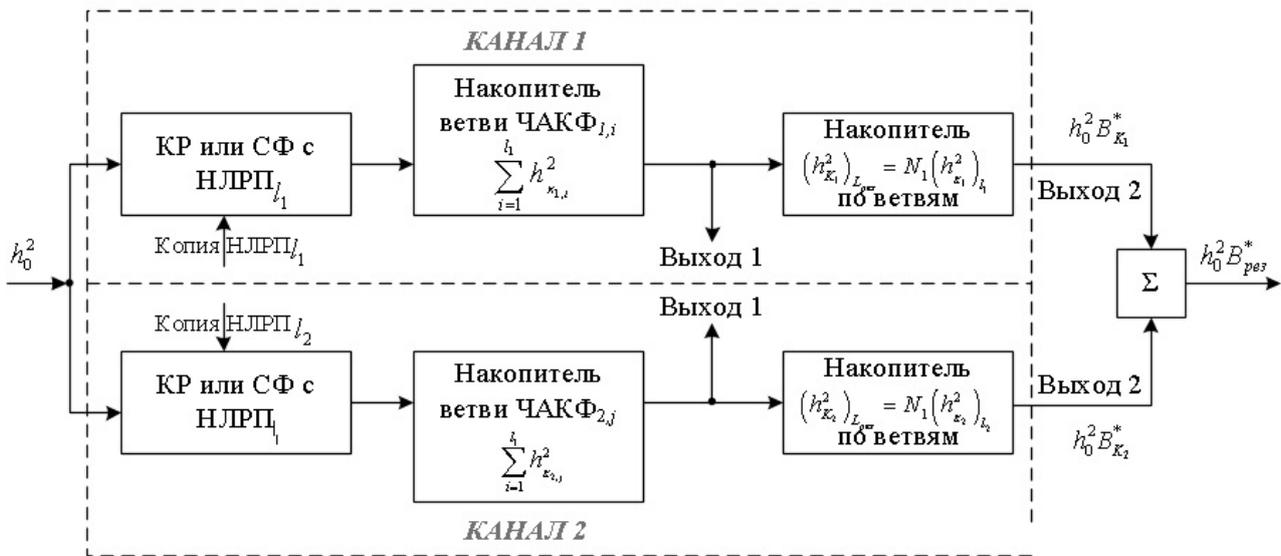


Рис. 9. Алгоритмическая схема реализации двухканальной ТРС

ЧАКФ – есть АКФ, формируемая при корреляционной процедуре приема ПНЛРП по отношению копии не всей ПНЛРП, а – ее порождающего элемента – НЛРП₁ (ЧАКФ₁) и НЛРП₂ (ЧАКФ₁). Отсюда и появляются два канала приема ПНЛРП в рамках ТРС: 1-й канал приема – по копии НЛРП₁ и 2-й канал приема – по копии НЛРП₂ [22, 23].

Аналогичная сущность 2-канальной ТРС в отношении процесса приема ДК ПНЛРП может быть трансформирована и на процесс приема 3-х и n -кратных ПНЛРП и СНЛРП.

На рис. 10, 11 показаны модели формирования ПНЛРП (2-х, 3-х и n -кратных) и СНЛРП (m -кратных), которые реализованы, например, в патентах авторов [29, 30], а теория их формирования изложена в работах [31-35] тех же авторов.

Совокупность идейных посылок к формированию и развитию теории «ТРС» основывается на использовании для повышения эффективности поиска, синхронизации и приема-обработки ШПС, обнаруженных впервые автором (И. И. Сныткиным) (уже после защиты им докторской диссертации еще в конце 90-х годов XX века и начале XXI века при исследовании корреляционных

свойств ПНЛРП) элементов свойств детерминированности АКФ, ВКФ ПНЛРП [36-42]. Определенный вклад в исследования свойств детерминированности АКФ ПНЛРП, СНЛРП внесли результаты защищенных в 2004 г. и в 2005 г. кандидатских диссертаций его учеников: В. Е. Федосеева и А. Н. Бережнова. Но, как сложившаяся уже научная категория, ТРС впервые нашла публичное отражение в виде метода ускоренного поиска шумоподобных сигналов на основе производных нелинейных рекуррентных последовательностей, как метода «третьей решающей схемы», доложенного на 38-й Военно-научной конференции Военной академии воздушно-космической обороны (г. Тверь) в 2009 г. В дальнейшем по мере получения, накопления научных результатов авторов в области исследования корреляционных детерминированных свойств КРФ ДК ПНЛРП, научная категория ТРС стала приобретать все большую глубину и всесторонность проявления и использования. Так, в защищенной в 2015 г. кандидатской диссертации Т. Т. Сныткиным, ТРС аббревируется уже как разработанный метод эффективного приема ШШС в виде ПНЛРП.

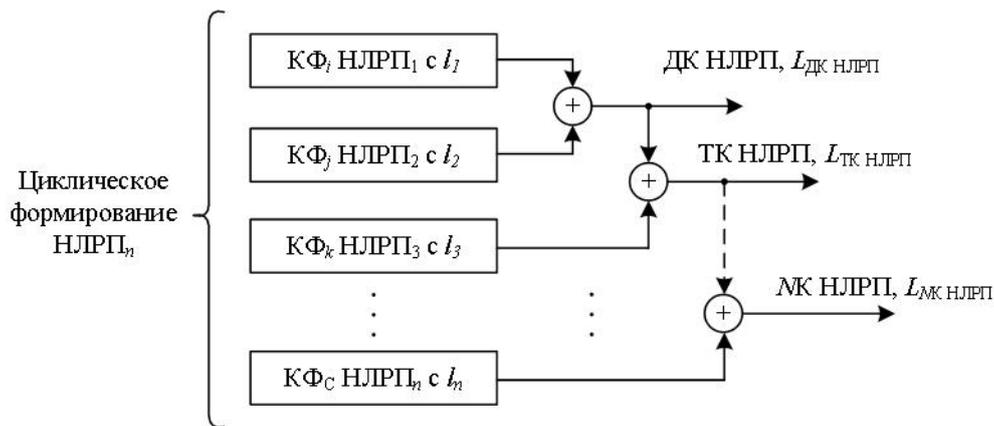


Рис. 10. Модель формирования ПНЛРП различной кратности.

На рисунке обозначения: $L_{ДК \text{ НЛРП}} = (l_1 \cdot l_2) / \text{НОД}$,

$L_{ТК \text{ НЛРП}} = (l_1 \cdot l_2 \cdot l_3) / \text{НОД}$, $L_{НК \text{ НЛРП}} = (l_1 \dots l_n) / \text{НОД}$

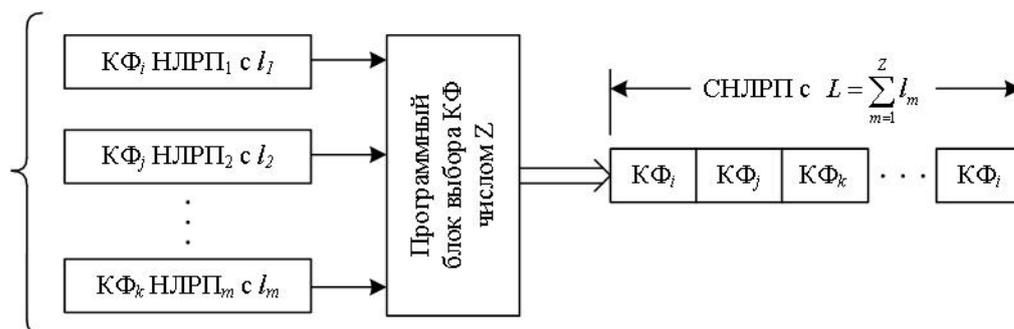


Рис. 11. Модель формирования СНЛРП различной кратности Z.

На рисунке обозначения: $\{i, j, k\} = 1, N_{(И, А) П}$, $N_{(И, А) П}$ – число изоморфных (И) и автоморфных (А) преобразований (П) КФ простых НЛРП с длительностями $\{l_m\} = \{p, p-1, p^n-1\}$, где p – простое число,

$n = 2, 3, \dots, m$ – число заданных, Z – число выбираемых длительностей НЛРП

В чем состоят признаки-факторы детерминированности структуры АКФ ПНЛРП и в целом ДК ПНЛРП в частности – было уже указано выше.

Таким образом, структура ПНЛРП определяет структуру и ее АКФ и ее ЧАКФ, то есть их детерминированность, указанную выше. И наоборот! Следовательно, АКФ и ЧАКФ несут информацию о структуре, то есть форме ПНЛРП, и таким образом, АКФ, ЧАКФ ПНЛРП можно считать «сигналом», несущим информацию о форме ПНЛРП. И, следовательно, этот сигнал – детерминированная структура АКФ, ЧАКФ – может и должна использоваться для реализации эффективных процедур (методов, способов, технических решений) приема-обработки ПНЛРП как дополнительный (или основной) канал приема ПНЛРП и принятия решения. Это безусловно приведет к повышению достоверности принятия решения согласно классической теории разнесенного приема (ТРП), элементы которой впервые были опубликованы в работе Д. Бреннана [15], определившей и описавшей три классических метода разнесенного приема: пространственный, временной, частотный, – и показавшей, что наибольший эффект (с точки зрения повышения достоверности принятия решения) достигается при числе каналов-ветвей приема $(Q_k)_{\text{опт}} = (2, 3)$. Идея ТРП заключается в следующем [15]. Если под h_0^2 понимать среднее отношение энергии сигнала к удельной мощности помехи (с/п), которые имели бы место, если бы использовался «одиначный» прием, под h_Q^2 – отношение с/п в каждом Q канале (ветви), то результирующее значение (с/п) перед схемой принятия решения равно:

$$h_{\text{рез}}^2 = \sum_{i=1}^Q h_{Q_i}^2 = Q \cdot h_Q^2.$$

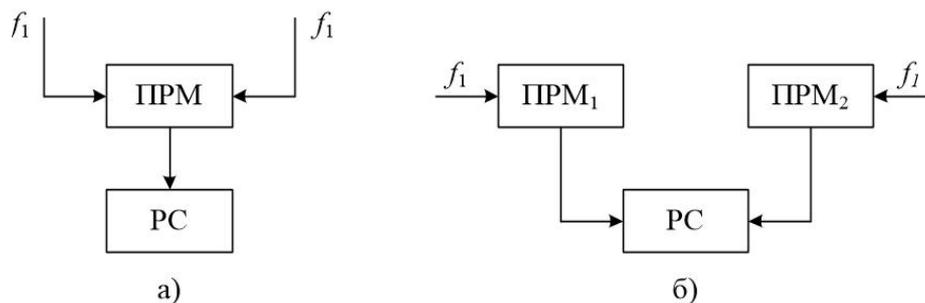


Рис. 12. Схема пространственного разнесения с одним (а) и двумя (б) приемниками

Таким образом классическая ТРП использует энергетический фактор разнесения (отношение с/п).

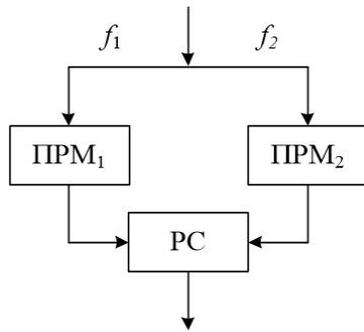


Рис. 13. Схема частотного разнесения

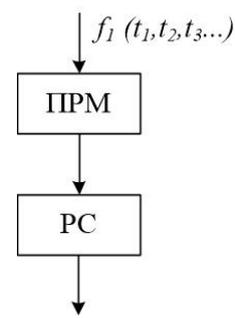


Рис. 14. Схема временного разнесения

В этой связи модель использования ТРС, как дополнительного канала приема, в рамках ТРП выглядит следующим образом (рис. 15).

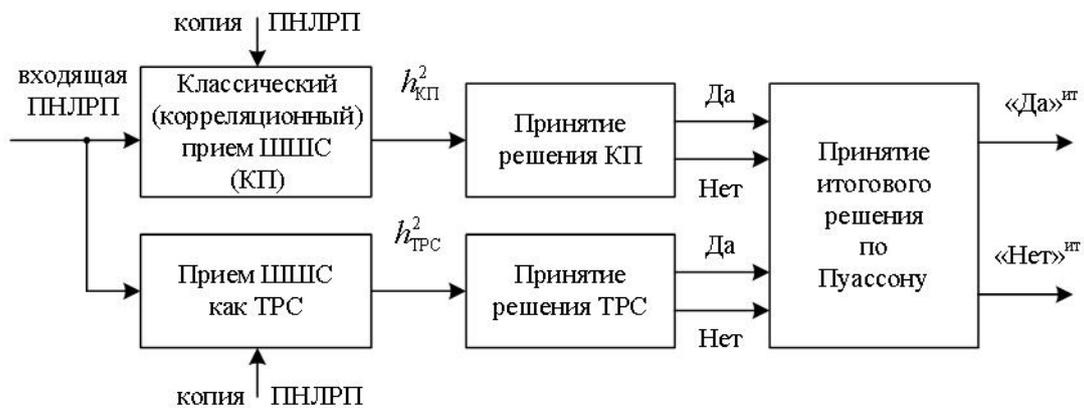


Рис. 15. Модель использования ТРС, как дополнительного канала приема в рамках ТРС

В этом случае использования ТРС такое разнесение приема можно отнести к «методическому» разнесению, так как процедура приема ШШС классическим путем (с получением отношения с/п = $h_{\text{КП}}^2$) и путем ТРС (с получением отношения с/п = $h_{\text{ТРС}}^2$) отличаются «методиками» получения $h_{\text{КП}}^2$ и $h_{\text{ТРС}}^2$ с использованием вероятностного критерия-фактора, так как итоговое решение («Да»^{ИТ}, «Нет»^{ИТ}) принимаются по вероятностному закону Пуассона [43] с $P_{\text{ош}}^{\text{ИТ}} < (P_{\text{ош}}^{\text{КП}}, P_{\text{ош}}^{\text{ТРС}})$.

Однако ТРС можно (и нужно!) использовать как самостоятельную процедуру приема ШШС в виде ПНЛРП.

В работе авторов [22] дается определение ТРС: «ТРС» является процедура (как совокупность алгоритмов, методов, технических решений) приема ШШС в виде ПНЛРП в режимах обнаружения, поиска, синхронизации и обработки ПНЛРП по принятию решения о структуре ПНЛРП и, следовательно, о сообщении (элементарном) на основе анализа и идентификации структуры детерминированной КРФ ПНЛРП.

Исходя из этого определения можно понять, почему такая решающая схема была названа «третья». Ответ: потому, что именно она принимает допол-

нительное – третье – решение (после ПРС и ВРС), какой символ ВА в первичном коде принят при использовании ШШС на основе новой методики приема-обработки ШШС, использующей новый фактор приема – детерминированность, то есть «форму» (структуру) КРФ ШШС. Целесообразность этого понятия усиливается, если принять к использованию понятие (ранее введенное нами) – «третья формирующая схема» (ТФС).

Но если учесть, что: 1) основу построения ШШС представляют прежде всего ПСП, а они используются практически на всех уровнях транспортной системы (первые четыре уровня) ЛС ISO для реализации как функций и задач этих уровней, так и защиты информации согласно ГОСТа [17]; 2) процедуры приема ПСП не меняются в зависимости от уровня ЛС ISO; 3) в интересах выполнения требований ГОСТа [17] целесообразно использовать в качестве ПСП именно ПНЛРП, – то можно отметить, что тем самым ТРС может, как категория, реализовываться на большинстве уровней ЛС ISO как межуровневый «фактор-шлюз» (табл. 1), что подчеркивает системность понятия ТРС.

Но наиболее важным с точки зрения сущности ТРС является совокупность следующих положений:

1) как любая детерминированная функция – детерминированная КРФ (АКФ и ВКФ) ПНЛРП – имеет закономерности и свойства, которые можно и нужно использовать для реализации ТРС, а следовательно – их нужно установить и исследовать фактически;

2) как было установлено авторами в результате многочисленных исследований, процесс корреляционного анализа (при приеме) ПНЛРП по отношению копии всей ПНЛРП можно заменить на многоканальный (по числу порождающих ПНЛРП ее элементов – простых НЛРП) корреляционный анализ входящей ПНЛРП по отношению копий порождающих элементов, при этом мы будем иметь дело с анализом частных КРФ, прежде всего частных АКФ – ЧАКФ; (i – число порождающих элементов), которые имеют аналогичные (по типу) свойства и закономерности детерминированности как и основная АКФ. Но в этом случае мы будем иметь дело с «разнесением» по этим каналам процесса корреляционного анализа при приеме ПНЛРП, причем каналам независимым, работающим в одной и той же полосе частот, и некоррелированным по своей природе. Такое «разнесение» отвечает всем условиям ТРП [15], но является новым – отличным от классических (по времени, пространству, частоте) – «разнесением по форме», а именно – форме (кодовой) порождающих элементов – простых НЛРП. Поэтому можно констатировать, что ТРС является схемой «разнесенного по форме» приема ШШС. На рис. 9 представлена структурная схема состава и места ТРС для варианта приема ДК ПНЛРП (как развитие схемы, изображенной на рис. 8);

3) для реализации ТРС – в этом случае – следуя выше сформулированному положению, необходимо исследовать и использовать свойства и закономерности частных АКФ ПНЛРП, в частности ДК ПНЛРП, в интересах реализации ТРС, прежде всего с позиции указанных выше признаков-факторов детерминированности;

4) ТРС в общем случае обеспечивает значительный выигрыш в достоверности приема за счет возможности реализовать преимущества разнесенного приема (в случае ТРС – «по форме»). В работах [22, 23] в этой связи вводятся, анализируются и используются понятия: «канал разнесения по форме», «ветвь разнесения по форме», сложение (накопление) частных пиков ЧАКФ – $R_{\text{ЧАКФ}}$, такты накопления, «прогон» сравнения, «участок» сравнения и др., используемые для описания функционирования и оценки эффективности ТРС (см. рис. 9).

Реализация функциональных элементов на рис. 9 и в целом ТРС (алгоритмы и способы функционирования, технические решения) определяется на основе использования свойств и закономерностей детерминированности ЧАКФ₁, ЧАКФ₂ ДК ПНЛРП, что в полной мере и развернуто показывается в работах [62-68].

В этой связи и с учетом вышесказанного задача исследования свойств и закономерностей ЧАКФ_{*i,j*} ПНЛРП в целом и ЧАКФ₁, ЧАКФ₂ ДК ПНЛРП в частности (и прежде всего), представляет собой важнейшую среди других задач построения и реализации ТРС приема-обработки ДК ПНЛРП. Но необходимо в том числе указать, что указанные выше признаки-факторы детерминированности ЧАКФ с точки зрения конкретных параметров (и их значений) в полной мере зависят от типов, видов, групп ДК ПНЛРП, классификация которых развернуто приводится в [23]. Очевидно, что и исследования детерминированности ЧАКФ_{1,2} ДК ПНЛРП необходимо проводить на основе и с учетом этой классификации.

Ниже будет приведен обзор уже проведенных и опубликованных (и анализ элементов будущих) исследований в этом направлении.

4. Сущность и результаты развития исследований детерминированности КРФ ПНЛРП в интересах реализации ТРС

Как следует из вышесказанного, исследования (и результаты этих исследований) свойств и закономерностей ЧАКФ ПНЛРП в целом и ДК ПНЛРП прежде всего (как первого этапа) лежат в основе как построения ТРС, так и ее реализаций, тем более, что именно обнаружение закономерностей в целом КРФ, и ЧАКФ в частности, в свое время «подтолкнули» непосредственно к идее ТРС и ее разработке.

В этой связи необходимо указать на то, что указанное направление исследований в области теории ССС является совершенно новым, эксклюзивным и естественно актуальным по следующим обстоятельствам.

Во-первых, как было указано ранее, термин «псевдослучайные сигналы» (или последовательности – ПСП) в теории ССС появился и используется в связи с тем, что регулярные методы формирования (генерирования) ПСП, например, посредством РС с ЛОС, генерирующих широко используемые двоичные МП на основе использования элементов теории двоичных конечных полей Гауа $GF(2^n)$ [13] длительностями $L = 2^n - 1$, $n = 2, 3, \dots$, порождают такой поток символов «1» и «0», особенно при $L > 100$, который для «стороннего наблюдателя» воспринимается как случайный, причем на любом практически участке $l < L$

длины L МП, начиная с $l \geq 2^n + 1$, число «1» и «0» отличаются на 1 на этом участке, что и создает вполне «осязаемый эффект случайности» появления «1» и «0» [6].

В этой связи и появилось (в свое время) идея и методы приема МП – «корреляторный» и «согласованной фильтрации» [1, 4-6], (см. выше), основанные на сравнении (при приеме) «входящей» МП с ее копией, хранящейся в приемнике, и использующие элементы теории случайных процессов [43]. Эти методы поэтому и оперировали такими категориями, взятыми из этой теории, как «математическое ожидание» и «дисперсия» уровня боковых выбросов АКФ: $M(A_{БВ})$, $D(A_{БВ})$, $A_{ОП}$, средний уровень $A_{БВ} - (\bar{A}_{БВ})$ и др. Качество (и критерии качества) приемных процедур зависели как раз от этих параметров: чем меньше значение этих параметров – тем выше качество приема (достоверность принятия решения). С этой позиции оценивалось и качество всех видов ПСП.

Во-вторых, как показали исследования в ТСС (и как было указано выше), самыми маленькими значениями $A_{БВ}$ обладали МП, для которых, например $\bar{A}_{БВ} \approx (1...3)/\sqrt{L}$ [5, 12], поэтому МП в ТСС признаны «оптимальными» с точки зрения качества АКФ, а все другие виды ПСП сравнивали с МП по $\bar{A}_{БВ}$ и относили их или к «квазиоптимальным», или – «неоптимальным», или – «оптимальным» [12].

Так ПСП в виде, например, кодов квадратичных вычетов (ККВ), характеристических кодов (ХК), кодов Зингера, Холла, существующих в полях Галуа $GF(p)$, $GF(p^n)$, p – простое число, $n = 2, 3, \dots$, для $L = \{p, p-1, p^n-1\}$ [12], которые впоследствии, благодаря результатам исследований профессора И. И. Сныткина, получили, в ТСС «термин-категорию» – нелинейные рекуррентные последовательности (НЛРП) или простые НЛРП, относят к «оптимальным» [12].

В-третьих, исследования качества всех видов ПСП сводились к исследованию периодических и аperiodических АКФ, ВКФ, СКФ с позиции оценки выше указанных параметров и рекомендаций их применения на основе этих оценок. На основе этих же оценок формировались методы синхронизации, поиска, приема-обработки ПСП и ШШС в целом [5, 6].

Таким образом, в классической и общепринятой теории и практике ССС «царица и царит» парадигма: корреляционные функции – АКФ, ВКФ, СКФ – ПСП являются случайными – и это породило и порождает разработку соответствующих методов и технических решений синхронизации, поиска, приема-обработки (и принятия решения «свой-чужой») ПСП. *Никто, никогда не усомнился в теоретической правильности этой парадигмы!* Ведь на самом-то деле не может быть, чтобы КРФ была случайной, если корреляционный процесс (и функция) формируются и реализуются по отношению детерминированных функций – какими и являются ПСП (входящие и их копии на приемной стороне), так как они формируются (генерируются) регулярными – детерминированными методами и средствами.

Поэтому тезис и утверждение: «КРФ для любых видов ПСП являются детерминированными», – являются правильными, соответствующими основным

фундаментальным положениям высшей математики (алгебра, математический анализ, теория случайных процессов)!

В-четвертых, в связи с выше изложенным, понятно, что в ТСС исследованиями КРФ ПСП как детерминированными функциями никто и никогда не занимался по простым причинам – гипотетическими нецелесообразности и практической не востребованности. *А зря!* Ведь многие результаты исследований, например, в указывавшихся выше работах [5, 6, 14, 19], подталкивали к необходимости исследований детерминированности КРФ ПСП, в особенности по отношению новых видов ПСП, например, таких как ЛРД-коды [14]. Такие исследования, безусловно, смогли бы внести положительный вклад в теорию и практику приема-обработки ПСП. Так же как это произошло в результате исследований детерминированности КРФ по отношению ДК ПНЛРП, уже полученных авторами (в том числе данной статьи).

В этой связи исследования детерминированности КРФ, в частности АКФ (ЧАКФ) ПНЛРП (прежде всего – ДК ПНЛРП) являются актуальным, новым и, по существу, эксклюзивным направлением, и результаты этих исследований успешно можно использовать для повышения эффективности и качества в целом процесса приема-обработки ШШС.

Проанализируем этапы и результаты этих исследований.

Впервые публично (в качестве еще гипотезы) идея использовать КРФ (прежде всего АКФ) ШШС как детерминированную функцию в качестве сигнала для повышения эффективности всех процедур приема ШШС – на примере АКФ ПНЛРП – была озвучена и обсуждена на конференции и в работе [36], а в работе [37] уже были представлены результаты разработки алгоритма быстрого поиска – как первичного этапа приема ПНЛРП – на основе «накопления» детерминированных уровней $R_{чб_{(1,2)}}$ частных боковых всплесков АКФ ПНЛРП. На рис. 16 представлены результаты машинного моделирования этого процесса, где демонстрируется как «накапливается» энергия боковых всплесков (детерминированных по уровню и времени) АКФ, и в результате в конце всего цикла автокорреляционного анализа (на длине L ПНЛРП) при приеме достигается

значительное превышение $\sum_i^L R_{чб_i} \gg \bar{R}_{чб}$, что позволяет задолго до возможного

появления $A_{оп}$ принимать решение «свой-чужой» сигнал с использованием соответствующего энергетического критерия. Накопление $R_{чб_i}$ осуществлялось с учетом экстраполированного значения $R_{чб_i}$ чисто теоретически. Моделирование этого процесса на ЭВМ подтвердило теоретические выводы. Впоследствии с использованием этих результатов АКФ ПНЛРП – как многопиковая детерминированная периодическая АКФ ПНЛРП – была положена в основу разработанного алгоритма быстрого поиска [38] и соответствующего запатентованного способа ускоренного поиска ШШС в виде ПНЛРП [44], в том числе разработанной и защищенной кандидатской диссертации В. Е. Федосеева.

В основе этого алгоритма «накопления» энергии $R_{чб_i}$ лежала идея «слепого» накопления, то есть использовался «пороговый накопитель», срабатыва-

ющий при превышении уровня $(0,7 \cdot R_{\text{чб}_i})$, без знания моментов их появления, причем известны были лишь значения: $(R_{\text{чб}_i})_{\text{max}}, i = (1, 2), (R_{\text{чб}_{(1,2)}})_{\text{max}} = k_{(1,2)} \cdot l_{(1,2)}$; $l_{(1,2)}$ – длительности порождающих ДК ПНЛРП простых НЛРП $_{(1,2)}$. Алгоритм адекватно работал в рамках машинного моделирования [40].

В том числе был разработан алгоритм поиска именно для навигационной радиолинии на основе ДК ПНЛРП, учитывающий структуру навигационного информационного пакета данных [39], то есть это был уже первый практический опыт использования детерминированности АКФ ДК ПНЛРП, позволяющий значительно ускорить «поиск» полезного сигнала. Далее [40-42] была исследована и реализована «идея» идентификации структуры АКФ ПНЛРП как непосредственного сигнала для ускорения поиска и вхождения в синхронизм. Идея основывалась на использовании «копии» ДК ПНЛРП на приемной стороне для сравнения получаемой АКФ (при корреляционном приеме ДК ПНЛРП) с копией АКФ. При этом для заданной формы ДК ПНЛРП заранее исследовалась и фиксировалась и форма ее АКФ, естественно детерминированная, как предполагает модель на рис. 17.

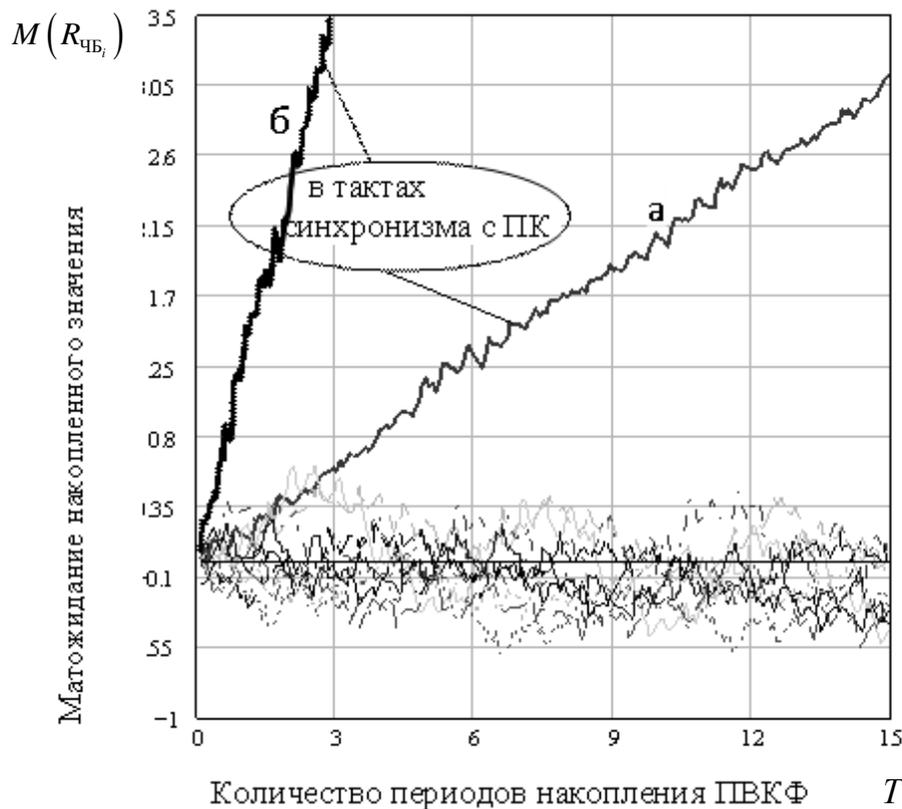


Рис. 16. Процесс накопления детерминированных уровней $R_{\text{чб}_i}$ частных всплесков ПВКФ ПНЛРП: а – накопление $R_{\text{чб}_i}$ НЛРП $_1$, б – накопление $R_{\text{чб}_i}$ НЛРП $_2$

Данный алгоритм совершенствовался с точки зрения «машинной» эффективности (вычислительной сложности) и повышения оперативности этапа синхронизации для спутниковых радиолиний [45, 46, 48].

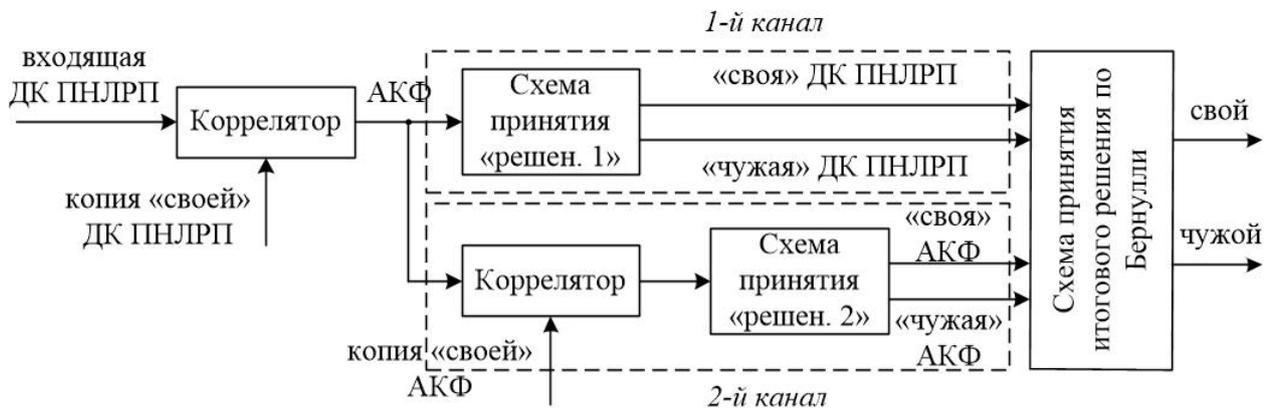


Рис. 17. Функциональная схема приема ДК ПНЛРП с каналом корреляторного приема по форме АКФ

Таким образом, согласно модели, изображенной на рис. 17, создаются два канала приема: 1-й – классический канал корреляционного приема ШШС (сравнение формы входящего ШШС – ДК ПНЛРП – с ее копией), 2-й канал сравнения формируемой в 1-ом канале АКФ с ее копией. Тем самым возникает возможность реализовать принятие более достоверного решения «по Бернулли», используя два канала предварительных решений, 1 и 2, так, что итоговая вероятность ошибки принятия решения будет:

$$P_{\text{ош}}^{\text{ит}} = 1 - \left[P_{\text{пр}}^{1\text{к}} \cdot P_{\text{пр}}^{2\text{к}} + P_{\text{пр}}^{1\text{к}} \cdot P_{\text{ош}}^{2\text{к}} + P_{\text{пр}}^{2\text{к}} \cdot P_{\text{ош}}^{1\text{к}} \right],$$

$$P_{\text{ош}}^{\text{ит}} < (P_{\text{ош}}^{1\text{к}}, P_{\text{ош}}^{2\text{к}}), \quad P_{\text{пр}}^{\text{ит}} > (P_{\text{пр}}^{1\text{к}}, P_{\text{пр}}^{2\text{к}}),$$

где $P_{\text{пр}}^{1\text{к}}$, $P_{\text{пр}}^{2\text{к}}$, $P_{\text{ош}}^{1\text{к}}$, $P_{\text{ош}}^{2\text{к}}$ – соответственно вероятности правильного решения (пр), ошибки (ош) соответственно первого и второго каналов (1к и 2к).

При этом неравенства в данном выражении увеличиваются при увеличении $L_{\text{ДК ПНЛРП}}$ (то есть (l_1, l_2) порождающих НЛРП) пропорционально. Таким образом, принятие «итогового» решения осуществляется по двум разнесенным каналам: 1-й – классический канал приема ШШС, 2-й – канал приема по форме АКФ ДК ПНЛРП, то есть разнесение осуществлялось «по форме» – по форме ДК ПНЛРП и форме АКФ ДК ПНЛРП.

Данные результаты и идея успешно были доложены и получили одобрение на Международной конференции [46].

Впоследствии эта идея была доработана для этапа «поиска» (до вхождения в синхронизм) ДК ПНЛРП в виде соответствующего алгоритма, в том числе машинного, доложенного и опубликованного в материалах Всероссийской научно-технической конференции (НТК) в 2009 г. [47].

Полученные и указанные результаты позволили выдвинуть идею о возможности трактовать данные алгоритмы, как новый путь принятия решения «свой-чужой» при приеме-обработке ШШС в виде ФМ-«ДК ПНЛРП» под

названием «третья решающая схема», использующая свойства детерминированности АКФ ДК ПНЛРП и принцип «разнесения» процесса приема «по форме» – нового вида разнесенного приема.

Впервые в виде нового метода приема-обработки ШШС (к каким относятся ПНЛРП) прежде всего для «этапа поиска» как «третья решающая схема» была доложена и опубликована на 38-й Военно-научной конференции Военной академии воздушно-космической обороны (г. Тверь) на Всероссийской НТК в 2009 г.

Важным этапом в исследованиях явилось рассмотрение возможностей использования детерминированности АКФ ДК ПНЛРП для повышения качества «этапа синхронизации», а именно таких параметров синхронизации, как «устойчивость и помехозащищенность синхронизации», ее ускорение [48]. Там же [48] рассматриваются соответствующие алгоритмы повышения этих параметров синхронизации и показывается, что, например, время вхождения в синхронизм может уменьшаться на 1-3 порядка, а вероятность ошибки синхронизации уменьшаться на 3-5 порядков (в зависимости от L ПНЛРП).

Впоследствии была проверена гипотеза, заключающаяся в том, что 2-й канал разнесения приема (по АКФ ДК ПНЛРП) можно организовать также по принципу «разнесения по форме», а именно: осуществлять корреляционный прием ДК ПНЛРП по двум подканалам: один – путем сравнения входящей ДК ПНЛРП с копией одного порождающего элемента – НЛРП₁, второй – с копией другого порождающего элемента – НЛРП₂. Такая организация разнесенного канала приема значительно упрощает алгоритм, так как предполагает отказ в принципе от классического канала приема и принятия решения (рис. 8), не требует предварительного исследования и использования АКФ всей ДК ПНЛРП (данная АКФ по временной оси распространения на длину L), а требовал использования частных АКФ, то есть ЧАКФ₁, ЧАКФ₂, представляющих собой АКФ между всей входящей ДК ПНЛРП и копиями порождающих ее элементов, то есть НЛРП₁ и НЛРП₂, для принятия двух частных решений: ЧР₁ и ЧР₂ (рис. 18).

Как выяснилось при исследовании: структуры ЧАКФ₁ и ЧАКФ₂ отражают полностью, во-первых, структуру ДК ПНЛРП и закономерности всей АКФ; во-вторых, имеют свои закономерности и свойства, зависящие: от L ДК ПНЛРП и (l_1, l_2) НЛРП₁, НЛРП₂; от видов и ДК ПНЛРП, и самих НЛРП₁ НЛРП₂. Таким образом ЧАКФ₁, ЧАКФ₂ несут еще больше идентификационной информации о структуре ДК ПНЛРП, использование которой (как дополнительных сведений, снижающих энтропию) предполагает повышение достоверности принятия решения, это во-первых, а во-вторых, как показали исследования, ЧАКФ₁ и ЧАКФ₂ – циклически повторяющиеся функции на участках длин всей ДК ПНЛРП – соответственно l_1 и l_2 , – что предполагает ускорение процесса поиска, захвата и синхронизации.

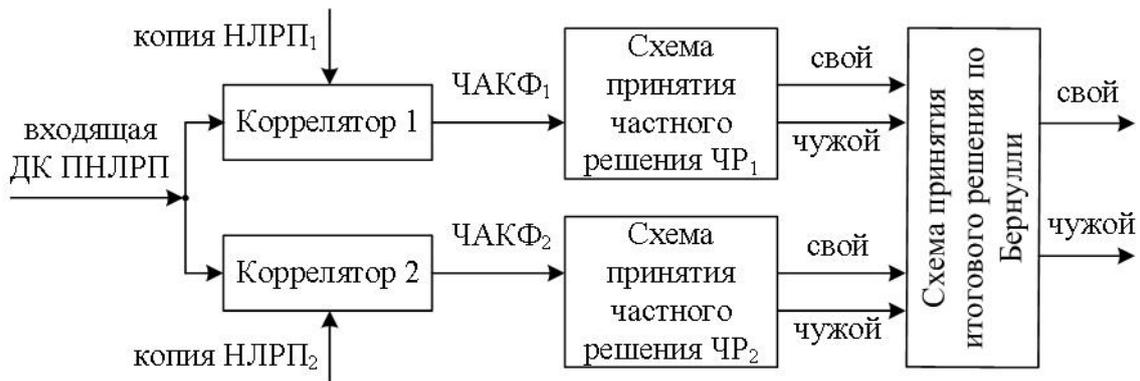


Рис. 18. Двухканальная функциональная схема приема ДК ПНЛРП на основе анализа ЧАКФ

Все эти стороны свойств ЧАКФ требовали детальных теоретических исследований. Но предварительно требовалось провести исследования корреляционных свойств ПНЛРП в рамках и объеме традиционных АКФ, ВКФ в интересах классического метода приема, чтобы выяснить все стороны целесообразности использования именно ЧАКФ. В этой связи, опубликованные в работах [23, 36, 49] определенные результаты этих исследований автокорреляционных и взаимокорреляционных функций ДК ПНЛРП установили:

- теоретические аспекты исследований, как элементы теории детерминированности корреляционных функций ДК ПНЛРП;
- конкретные свойства и закономерности детерминированности АКФ ДК ПНЛРП различных видов: «вложенного» и «невложенного» четной длительности L ;
- свойства и закономерности такой внутренней структуры ЧАКФ ДК ПНЛРП: нечетной длительности L ; симметричного типа 1-го и 2-го рода четной длительности L .

Так, в работе [36]: рассматриваются теоретические основы синтеза ПНЛРП различных: кратности, видов и типов, и исследования свойств и характеристик их периодических функций автокорреляции (ПФАК), в частности – ПФАК ДК ПНЛРП, и показывается, что:

1) ПФАК ПНЛРП является функцией многоуровневой и детерминированной по числу, значениям уровней и времени их появления;

2) наилучшими автокорреляционными свойствами (с точки зрения максимума боковых выбросов) обладают ПНЛРП, образуемые из НЛРП квадратных вычетов с длительностями $l = 4t + 3$ независимо от кратности ПНЛРП, а наихудшими – образуемые из НЛРП характеристических кодов с длительностями $l = 4t$, остальные виды ПНЛРП имеют значения максимального бокового выбросов ПФАК ($R_{w_{bb}}$) – промежуточные;

3) формулируется и доказывается теорема, определяющая математическую модель описания и оценки ПФАК ПНЛРП любой кратности n :

$$R_{W^n}(m) = \prod_{j=1}^n R_{V_j}(m),$$

где W^n – ПНЛРП кратности n ; $j = \overline{1, n}$; $R_{V^j}(m)$ – ПФАК j -й производящей НЛРП V^j ; m – тактовый сдвиг; $m = \overline{0, (l_1, l_2, \dots, l_j)}$, являющейся адекватной и справедливой для любых видов, типов ПНЛРП, НЛРП и их длительностей L, l_j ;

4) приводятся конкретные методика и оценки ПФАК для любых из десяти видов ДК ПНЛРП.

В работе [22]: на основе исследований и оценки свойств и характеристик ПФАК простых НЛРП различных видов и длительностей как порождающих (производящих) последовательностей (ПСП) ПНЛРП устанавливаются свойства, закономерности и математическая модель с конкретными оценками ПФАК, уже различных типов и длительностей ПНЛРП; даются обоснованные рекомендации по синтезу ПНЛРП с наилучшими ПФАК и заданными свойствами и характеристиками: значению максимальных боковых выбросов $(R_{V_{\text{ББ}}^j})_{\text{max}}$, $(R_{W_{\text{ББ}}^n})_{\text{max}}$; математическим ожиданиям, дисперсиям и среднеквадратическим отклонениям значений боковых выбросов – $M_1(R_{V_{\text{ББ}}^j})$, $M_2(R_{W_{\text{ББ}}^n})$, $D_1(R_{V_{\text{ББ}}^j}) = f_1(l_j)$, $D_2(R_{W_{\text{ББ}}^n}) = f_2(l_j, L)$, $D_1^{1/2}(R_{V_{\text{ББ}}^j}) = f_3(l_j)$, $D_2^{1/2}(R_{W_{\text{ББ}}^n}) = f_4(l_j, L)$; нормированным уровням БВ – $\gamma_j = D_1^{1/2}/l_j = f_5(l_j)$, $\gamma = D_2^{1/2}/L = f_6(l_j, L)$, – при этом для каждой из функций f_1, f_2, \dots, f_6 даются конкретные математические модели описания и оценки по отношению различных видов ПНЛРП.

В работе [49] с использованием положений работ [22, 36]: рассматриваются математические модели описания и результаты исследования взаимокорреляционных свойств ПНЛРП в виде периодических функций взаимной корреляции (ПФВК) ПНЛРП одного n -го порядка различных видов; формулируется и доказывается теорема, которая устанавливает, что математическая модель ПФВК $Q^n(m)$ двух ПНЛРП (μ -й и ν -й форм) n -го порядка W_μ^n и W_ν^n есть:

$$Q^n(m) = \prod_{j=1}^{\delta} R_{V^j}(m) \cdot \prod_{j=\delta+1}^n Q_{V^j, V^{*j}}(m),$$

где: $R_{V^j}(m)$ – ПФАК двух простых НЛРП V^j и V^{*j} одинаковой длительности l_j , но отличающихся по форме; m – тактовый сдвиг; δ – число одинаковых НЛРП, $\delta < n$, $Q_{V^j, V^{*j}}(m)$ – ПФВК двух НЛРП.

При этом данная теорема рассматривает все возможные случаи для $Q^n(m)$, а именно: отсутствие в ПНЛРП одинаковых производящих элементов (НЛРП), $\delta = 0$, наличие δ одинаковых производящих элементов (НЛРП), $1 \leq \delta < n$.

Там же [49] получены граничные оценки ПФВК для случая ДК ПНЛРП и n -кратных ПНЛРП, а именно, для боковых выбросов ПФВК ПНЛРП $(R_{\text{ББ}})_{\text{max}}$, $((R_{\text{ББ}})_{\text{max}})_{\text{min}}$, и делаются подробные частные и обобщающие выводы и рекомендации по структуре ПНЛРП в интересах минимизации $((R_{\text{ББ}})_{\text{max}})_{\text{min}}$.

Как было указано выше, опубликованные в работах [22, 36, 49] результаты исследований были ориентированы на использование их для реализации традиционного классического метода приема-обработки ШШС, отмеченного выше (рис. 1, 7). А вот реализация ТРС приема-обработки ШШС в виде ПНЛРП (рис. 8, 9, 17, 18) требовала исследования частных АКФ (ЧАКФ) прежде всего ДК ПНЛРП. Этому были посвящены последующие исследования.

Так, работа [50] посвящена разработке общих теоретических основ моделирования и исследования ЧАКФ ПНЛРП, свойств детерминированности ЧАКФ с учетом целевой задачи: использование этих свойств в интересах реализации ТРС. В [50] анализируются признаки понятия ЧАКФ и ЧВКФ (в том числе дискретных) применительно к ДК ПНЛРП, указывается на целый ряд уникальных свойств детерминированности ЧАКФ, которые можно использовать для повышения эффективности ТРС на всех этапах приема-обработки ДК ПНЛРП: поиск, обнаружение, синхронизация, прием, обработка. Причем свойства и характеристики детерминированности ЧАКФ адекватно отражают структуру (форму), состав порождающих элементов (простых НЛРП) ДК ПНЛРП, длительности L, l_1, l_2 и др. В этой связи в интересах систематизации соответствия: «детерминированность ЧАКФ» \Leftrightarrow «структура ДК ПНЛРП», – была разработана классификация НЛРП (как порождающих элементов) и ДК ПНЛРП:

1) НЛРП классифицированы по признаку вида длительностей – на группы A, B, C, D :

группа A – длительности $l = 4t + 1 = p$;

группа B – длительности $l = 4t + 3 = p$;

группа C – длительности $l = 4t = \{p-1, p^n-1\}$;

группа D – длительности $l = 4t + 2 = \{p-1, p^n-2\}$,

где: p – простое число, $t = 1, 2, 3, \dots, n = 2, 3, \dots$;

2) ДК ПНЛРП классифицированы:

а) по признаку сочетания групп НЛРП в составе ДК ПНЛРП – классифицированы на 10 видов: $AB, AC, AD, BC, BD, CD, AA, BB, CC, DD$;

б) по признаку сочетания значений $\{L, l_1, l_2\}$ – все виды ДК ПНЛРП были разделены на подгруппы: четные (CC, CD, DD), нечетные (AA, AB, BB), комбинированные (AC, AD, BC, BD);

3) ДК ПНЛРП четной подгруппы были разделены на два типа: «вложенного» типа и «невложенного» типа;

4) ДК ПНЛРП нечетной подгруппы были разделены на: однотипные и разнотипные (в зависимости от типа простых чисел);

5) ДК ПНЛРП «комбинированной» подгруппы были разделены на типы: «меньше-четный» и «меньше-нечетный».

Такая классификация имеет важное, принципиальное значение, так как исследования ЧАКФ показали, что свойства и закономерности детерминированности ЧАКФ группируются и объединяются как раз в соответствии с выше приведенной классификацией, а, следовательно, это обстоятельство обеспечивает систематизацию этих свойств и закономерностей ЧАКФ и тем самым – их системное использование в интересах ТРС.

Обобщенно классификация ДК ПНЛРП приведена в таблице 2.

Изложенная выше классификация в полной мере использовалась и используется в дальнейших исследованиях.

В работе [50] приводится и анализируется общая модель (графико-алгоритмическая) исследования ЧАКФ ДК ПНЛРП с учетом обобщенных моделей процессов формирования (на передающей стороне), приема-обработки (на приемной стороне) ДК ПНЛРП после установления синхронизации по двум каналам приема (A и B) ТРС.

Таблица 2 – Обобщенная классификация ДК ПНЛРП

Подгруппы сочетания длин $\{l_1, l_2\}$	Виды ДК ПНЛРП	Типы ДК ПНЛРП
Четная	CC, CD, DD	вложенные, невложенные
Нечетная	AA, AB, BB	однотипные, разнотипные, комбинированные
Комбинированная	AC, AD, BC, BD	«меньше-четные», «меньше-нечетные»

Там же [50] вводится ряд новых понятий, используемых как при исследовании детерминированности, так и при реализации ТРС, использующей свойства детерминированности ЧАКФ ДК ПНЛРП. Эти понятия, в том числе, являются категориями свойств детерминированности ЧАКФ, к ним относятся: дисбаланс (ДБ) символов «1» и «0» в структуре ДК ПНЛРП, последовательность чисел совпадения (ПЧС); структура ПЧС; периоды повторения (периоды) ПЧС $_A - T_A$, ПЧС $_B - T_B$ (A и B – каналы приема в ТРС); канальная тактовая ПЧС (КТПЧС $_A$, КТПЧС $_B$); «числа-позиции» $\{a_i\}$, $\{b_j\}$, $i = \{1, 2, \dots, l_A\}$, $j = \{1, 2, \dots, l_B\}$, в составе ПЧС $_A = \{a_b\}$; ПЧС $_B = \{b_a\}$; «номера повторений» периодов порождающих НЛРП $_{1,2}$ при корреляционном анализе (на приемной стороне) в каналах A и B ТРС – k_a и k_b ; A и B – синхронизация.

Все вышеуказанные понятия-категории непосредственно использовались и используются при исследовании свойств и характеристик ЧАКФ ДК ПНЛРП различных видов, типов, подгрупп, результаты которых опубликованы в работах [51-61]. Проанализируем эти результаты.

В работе [51] изложены результаты исследований и установления свойств и закономерностей ЧАКФ ДК ПНЛРП «невложенного» типа в соответствии и при использовании теоретических положений и обобщенных моделей работы [50]. В процессе исследований [51] возникла необходимость дополнить излагаемую в [50] классификацию ДК ПНЛРП «невложенного» типа, а именно введены следующие дополнительные позиции классификации – три класса ДК ПНЛРП «невложенного» типа: первый – с сочетанием $\{l_1, l_2\} = \{4t_1, 4t_2\}$; второй – с сочетанием $\{l_1, l_2\} = \{4t_1, 4t_2+2\} \vee \{4t_1+2, 4t_2\}$; третий – с сочетанием $\{l_1, l_2\} = \{4t_1+2, 4t_2+2\}$. При этом (согласно [50]) к ДК ПНЛРП «невложенного» типа относятся виды CD, CC, DD ДК ПНЛРП с сочетанием $\{l_1 \text{ и } l_2\} = \{4t_1, 4t_2+2\}$ такие, что для ДК ПНЛРП $L = l_1 \cdot l_2 / \text{НОД}$ и $\text{НОД} \neq l_1 \cup l_2$. Для этих

классов ДК ПНЛРП «невложенного» типа были установлены, систематизированы и формализованно (в виде утверждений) сформулированы свойства и закономерности ЧАКФ с точки зрения вышеуказанных категорий: $ПЧС_A$, $ПЧС_B$, T_A , T_B , $КТПЧС_A$, $КТПЧС_B$, k_a , k_b , – в объеме конкретных их значений и форм, аналитических взаимосвязей для каждого класса данных ДК ПНЛРП. Было установлено, что с точки зрения обеспечения наибольшей помехоустойчивости предпочтительней является использование ДК ПНЛРП «невложенного» типа третьего класса, а с точки зрения обеспечения структурной скрытности – все классы данных ДК ПНЛРП – идентичны.

В работе [52] излагаются результаты аналогичных исследований, проведенных в отношении ДК ПНЛРП «вложенного» типа, то есть согласно [52], имеющих сочетание $\{l_1, l_2\}$ такое, что ДК ПНЛРП имеет $L = l_1 \cdot l_2 = \{l_1 \vee l_2\} = \{n \cdot l_2 \vee m \cdot l_1\}$, $(n, m) = 2, 3, \dots$, и видов CC , CD , DD . При этом, помимо конкретных фактических значений указанных выше категорий детерминированности ЧАКФ устанавливается:

- 1) что наиболее предпочтительным с точки зрения обеспечения скрытности являются ДК ПНЛРП вида CC ;
- 2) так как $КТПЧС_B$ представляет собой постоянное число: $\{l_{\tau_i}\} = l_b/2 \vee l_b/4$, – а $ПЧС_{b_a}$ являются одноуровневыми с $\{b_a\} = \{l_b \vee l_b/4 \vee l_b/2\}$, то это является выраженными факторами для идентификации данного типа ДК ПНЛРП по фактору вида и структуры $КТПЧС$ для использования в соответствующем методе ускоренной синхронизации в рамках ТРС;
- 3) с точки зрения обеспечения заданного уровня помехоустойчивости ДК ПНЛРП данного типа не являются приоритетными в сравнении с ДК ПНЛРП «невложенного» типа.

В работах [53-56] нашли отражение вопросы, связанные с оценкой возможности:

- 1) использования свойств и закономерностей ЧАКФ ДК ПНЛРП для решения задач ускорения поиска-захвата и синхронизации ПНЛРП;
- 2) идентификации видов, типов, групп, подгрупп ДК ПНЛРП и раскрытия их структуры любых длительностей, что представляет собой важнейший фактор использования тем самым ТРС приема-обработки ДК ПНЛРП в интересах решения задач информационной безопасности в рамках требований ГОСТа [17].

Аналогично результатам, представленных в работах [51, 52] в отношении ДК ПНЛРП «вложенного» и «невложенного» типов, в работах [57-61] представлены результаты моделирования и установления свойств и закономерностей ЧАКФ ДК ПНЛРП «комбинированного типа» и видов: с $L = l_1 \cdot l_2$, $\{l_1, l_2\} = \{4t, 4t+1\}$ [23]; с $L = l_1 \cdot l_2$, $\{l_1, l_2\} = \{4t, 4t+3\}$ [58, 61], – в том числе там же [57-61] делаются аналогичные выводы и предложения по практическому использованию ДК ПНЛРП «комбинированного типа» для реализации ТРС в интересах повышения эффективности всех этапов приема-обработки ДК ПНЛРП.

В работе [62] анализируются результаты аналогичных исследований по отношению ДК ПНЛРП «комбинированного типа» вида BC и показывается, что такие ДК ПНЛРП обладают: наилучшими помехоустойчивыми свойствами и скрытностью структуры, что делает их наиболее целесообразными для использования в специальных ПСП.

Подробно и развернуто направления и возможности использования свойств и закономерностей ЧАКФ ДК ПНЛРП для решения задач: повышения эффективности ТРС; идентификации структур, видов, типов ДК ПНЛРП; повышения скрытности информационного процесса при использовании ДК ПНЛРП, – рассмотрены в работах [25, 61], где излагается ряд технико-алгоритмических предложений по реализации ТРС (в интересах достижения указанных задач) на основе использования ДК ПНЛРП соответственно «невложенного» и «вложенного» типов. В частности, предложения:

1) по идентификации ДК ПНЛРП этих типов в виде технико-алгоритмических функциональных схем: оценки синдромов дисбаланса (ДБ) структуры ДК ПНЛРП (см. выше); оценки синдромов группирования структур КТПЧС $_{A,B}$; оценки синдромов значения $\{a_{\tau_i}, b_{\tau_j}\} = \text{var}$, $\{b_{\tau_j}\} = \text{const} = \{l_b/2, l_b/4, l_a\}$; оценки синдромов значений N числа уровней ПЧС $_{a_b}$; оценки синдромов числа Γ_{a_b} групп КТПЧС $_{a_b}$; идентификации ДК ПНЛРП «вложенного» типа (по 14-ти синдромам) по группам CC , CD , DD , – в том числе приводится вероятностная модель оценки успешности решения указанных задач;

2) по построению эффективных процедур поиска и синхронизации ДК ПНЛРП этих типов в виде технико-алгоритмических схем: повышения эффективности процесса поиска и ускоренного вхождения в синхронизм на основе использования свойств КТПЧС $_{A,B}$ (структуры, цикличности, конфигурации); двухканального (A , B) режима функционирования решающего устройства; комплексирования алгоритмов, – в том числе приводится вероятностная модель оценки успешности решения указанных задач.

Представленные в [25, 61] результаты носят обобщающий характер, который может быть использован как при реализации ТРС, так и при аналогичных исследованиях в дальнейшем в отношении других видов, типов, групп ДК ПНЛРП.

Заключение

Все вышеприведенные результаты и связанные с исследованием: общих теоретических основ ТРС; свойств и закономерностей детерминированности авто- и взаимокорреляционных функций ДК ПНЛРП и использовании этих свойств и закономерностей для реализации ТРС в интересах повышения эффективности поиска, синхронизации, приема-обработки ШШС в виде ФМ–ДК ПНЛРП, – с точки зрения развития теории и практики ТРС должны быть, во-первых, продолжены по отношению других типов, видов и групп ДК ПНЛРП, а во-вторых, должны иметь конкретные технические решения реализации ТРС в виде способов и устройств.

В отношении первого: исследовательская работа продолжается и ведется под руководством д.т.н., профессора И. И. Сныткина

В отношении второго: уже имеется целый ряд запатентованных в РФ способов и устройств по реализации ТРС с использованием ДК ПНЛРП [29, 30, 44, 63-69], с которыми, во-первых, можно ознакомиться по соответствующей патентной информации (литературе), во-вторых, очевидно данный ряд способов и устройств станет предметом других последующих обзорных статей, а, в-третьих, в отношении разработки аналогичных технических решений по реализации ТРС исследования также продолжаются.

Литература

1. Кловский Д. Д. Теория передачи сигналов. Учебник для вузов. – М.: Связь, 1973. – 376 с.
2. Смирнов В. А. Приближенные методы расчета помехоустойчивости и искажений в системах передачи информации. – М.: Связь, 1975. – 96 с.
3. Супрун Б. А. Первичные коды. – М.: Связь, 1970. – 161 с.
4. Цымбал В. П. Теория информации и кодирования. – Киев: Вища школа, 1977. – 288 с.
5. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М: Радио и связь, 1985. – 290 с.
6. Журавлев В. И. Поиск и синхронизация в широкополосных системах. – М: Радио и связь, 1986. – 240 с.
7. Тузов Г. И. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
8. Финк Л. М. Теория передачи дискретных сообщений. Изд-е 2-е, перераб. и доп. – М: Сов.радио, 1970. – 728 с.
9. Пестряков В. Б. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации. – М.: «Сов. радио», 1973. – 423 с.
10. Диксон Р. К. Широкополосные системы / Пер. с англ. под. ред. В. И. Журавлева. – М.: Связь, 1979. – 302 с.
11. Шеннон К. Е. Работы по теории информации и кибернетике: Сборник статей. – М.: Издательство иностранной литературы, 1963. – 829 с.
12. Свердлик М. Б. Оптимальные дискретные сигналы. – М: Сов.радио, 1975. – 200 с.
13. Лидл Р., Нидеррайтер Г. Конечные поля. – М.: Мир, 1988. – 468 с.
14. Цифровые методы в космической связи / Под ред. С. Голомба; Пер. с англ. под ред. Шляпоберского. – М.: Связь, 1969. – 271 с.
15. Brennan D. G. On the Maximum Signal to Noise Radio Realizable from Several Noise Signals // Proc. IRE. 1956. Vol. 43№10. P. 1530.
16. Хоффман Л. Дж. Современные методы защиты информации. – М.: Сов.радио, 1988. – 215 с.
17. ГОСТ Р ИСО 7498-2-99. Информационная технология. Взаимосвязь открытых систем. Базовая эталонная модель. Часть 2. Архитектура защиты информации. – М.: Госстандарт России, 1999. – 36 с.

18. Мардер Н. С. Смена парадигмы телекоммуникаций и семиуровневая модель взаимодействия открытых систем // Электросвязь. 2007. № 2. С. 9-10.

19. Сныткин И. И., Бурым В. И., Серобабин А. Г. Синхронизация по задержке при цифровой обработке сверхдлинных рекуррентных последовательностей // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 1990. № 7. С. 31-35.

20. Сныткин И. И., Сныткин Т. И. Теоретические основы синтеза и исследования свойств систем производных нелинейных рекуррентных последовательностей // Нелинейный мир. 2014. Т. 12. № 6. С. 17-25.

21. Сныткин И. И., Сныткин Т. И. Исследование и оценка свойств и характеристик периодических функций автокорреляции двукратных ПНЛРП // Нелинейный мир. 2014. Т. 12. № 8. С. 28-34.

22. Сныткин И. И., Сныткин Т. И. Разработка элементов теории третьей решающей схемы приема производных нелинейных рекуррентных последовательностей // Нелинейный мир. 2015. Т. 13. № 5. С. 78-84.

23. Сныткин И. И., Сныткин Т. И. Общие основы моделирования свойств детерминированности частных автокорреляционных функций двукратных производных нелинейных рекуррентных последовательности в интересах реализации «третьей решающей схемы» // Нелинейный мир. 2022. Т. 20. № 3. С. 51-60.

24. Сныткин И. И., Сныткин Т. И. Алгоритм реализации «третьей решающей схемы» повышения эффективности поиска и синхронизации сложных широкополосных шумоподобных сигналов // Электромагнитные волны и электронные системы. 2021. Т. 26. № 3. С. 54-63.

25. Сныткин И. И., Сныткин Т. И., Захаренко Д. Г. Техно-алгоритмические предложения по реализации третьей решающей схемы в интересах обеспечения эффективности приёма-обработки широкополосных шумоподобных сигналов на основе двукратной производной нелинейной рекуррентной последовательности «невложенного» типа // Успехи современной радиоэлектроники. 2023. Т. 77. № 9. С. 35-43.

26. Сныткин И. И., Сныткин Т. И. Моделирование и установление свойств детерминированности частных автокорреляционных функций двукратных производных нелинейных рекуррентных последовательностей «вложенного» типа в интересах реализации третьей решающей схемы // Успехи современной радиоэлектроники. 2022. Т. 77. № 7. С. 69-77.

27. Сныткин И. И., Сныткин Т. И., Захаренко Д. Г. Моделирование и установление свойств детерминированности частных автокорреляционных функций двукратных производных рекуррентных последовательностей «невложенного» типа в интересах реализации третьей решающей схемы (ТРС) // Успехи современной радиоэлектроники. 2023. Т. 77. № 5. С. 35-47.

28. Сныткин Т. И. Аналоговые режимы принятия решения о приеме в теории третьей решающей схемы // Нелинейный мир. 2018. Т. 16. № 6. С. 27-30.

29. Сныткин Т. И., Крупенин А. В., Сныткин И. И., Спирин А. В. Устройство формирования систем двукратных производных нелинейных

рекуррентных последовательностей // Патент на изобретение RU 2553057 C1, опубл. 10.06.2015, бюл. № 16.

30. Сныткин И. И., Захаренко Г. И., Сныткин Т. И., Никулин В. Н., Захаренко Д. Г. Устройство формирования систем трехкратных производных нелинейных рекуррентных последовательностей // Патент на изобретение RU 2792598 C1, опубл. 22.03.2023, бюл. № 29.

31. Сныткин И. И., Спирин А. В., Сныткин Т. И. Теоретическая концепция генерирования нелинейных рекуррентных последовательностей на основе использования регистров сдвига // Нелинейный мир. 2013. Т. 11. № 8. С. 531-539.

32. Сныткин И. И., Сныткин Т. И. Синтез автономных автоматов генерирования нелинейных рекуррентных последовательностей (НЛРП) в виде дискретных циклических последовательностей // Нелинейный мир. 2013. Т. 11. № 10. С. 702-715.

33. Сныткин И. И., Сныткин Т. И. Синтез автономных автоматов генерирования оптимальных нелинейных рекуррентных последовательностей заданной длительности // Нелинейный мир. 2013. Т. 11. № 11. С. 776-781.

34. Сныткин И. И., Сныткин Т. И. Методы и синтез аппаратных средств генерирования кодовых словарей нелинейных рекуррентных последовательностей фиксированной длительности // Нелинейный мир. 2013. Т. 11. № 12. С. 836-852.

35. Сныткин И. И., Сныткин Т. И. Теоретические основы синтеза и исследования систем производных нелинейных рекуррентных последовательностей // Нелинейный мир. 2014. Т. 12. № 6. С. 17-31.

36. Сныткин И. И., Бережнов А. Н. Автокорреляционная функция как информационный параметр // Материалы четвертой межрегиональной научной конференции «Студенческая наука – экономике России». – Ставрополь: СевКавГТУ, 2003. – С. 48-59.

37. Сныткин И. И., Бережнов А. Н., Федосеев В. Е. Быстрый поиск производных нелинейных рекуррентных последовательностей на основе взаимокорреляционной функции с производящими компонентами // Сборник рефератов депонированных рукописей. – Москва: ЦВНИ МО РФ, 2004. – С. 71-78.

38. Сныткин И. И., Бережнов А. Н., Федосеев В. Е. Поиск широкополосных сигналов с многопиковой периодической функцией автокорреляции // Сборник рефератов депонированных рукописей. – М.: ЦВНИ МО РФ, 2004. – С. 111-120.

39. Сныткин Т. И., Федосеев В. Е. Поиск сигнала навигационной радиопередачи с применением производных последовательностей // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: тезисы докладов Международной научно-технической конференции (Москва, 18-19 мая 2006 г.). – М.: МГТУ ГА, 2006. – С. 71-73.

40. Сныткин Т. И. Алгоритм обработки широкополосного сигнала на основе применения производных нелинейных последовательностей // Научные труды XXXIII международной молодежной научной конференции

«Гагаринские чтения». – М.: «МАТИ» – РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2007. – С. 112-117.

41. Сныткин Т. И., Федосеев В. Е. Повышение эффективности обработки широкополосных сигналов на основе идентификации структуры корреляционной функции манипулирующих производных нелинейных последовательностей // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: тезисы докладов международной НТК, посвященной 85-летию гражданской авиации России. – М.: МГТУ ГА, 2008. – С. 54-57.

42. Сныткин Т. И., Сныткин И. И., Федосеев В. Е. Ускоренный поиск ШПС на основе применения ПНЛРП // Тезисы докладов 1-й Всероссийской конференции «Системы управления, обработки информации и принятия решений». – Ставрополь: СВВАИУ (ВИ), 2009. – С. 44-46.

43. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2000. – 383 с.

44. Федосеев В. Е., Сныткин И. И., Варфоломеев Д. В. Способ ускоренного поиска широкополосных сигналов и устройство для его реализации // Патент на изобретение RU 2297722 С2, опубл. 20.02.2007 г., бюл. № 11.

45. Сныткин Т. И., Курляндчик А. П., Федосеев В. Е. Повышение оперативности этапа синхронизации спутниковых радиолиний ВВС // Тезисы докладов 10-й межвузовской НТК. – Ставрополь: СВВАИУ (ВИ), 2006. – С. 28-31.

46. Сныткин Т. И., Федосеев В. Е. Алгоритм синхронизации широкополосных навигационных радиолиний // Авиакосмические технологии и оборудование: материалы Международной научно-практической конференции (Казань, 15-16 августа 2006 г.). – Казань: Изд-во Казанского гос. технического университета, 2006. – С. 121-125.

47. Сныткин Т. И., Сныткин И. И., Федосеев В. Е. Элементы теории третьей решающей схемы при оптимальном приеме ШПС // 22-я сессия Всероссийской научно-технической школы-семинара «Передача, обработка, отображение информации». – Ставрополь: СВВАИУ (ВИ), 2009. – С. 30-35.

48. Сныткин Т. И., Сныткин И. И., Федосеев В. Е. Повышение помехозащищенности и устойчивости синхронизма радионавигационных систем с ИСЗ на основе использования ПНЛРП // 22-я сессия Всероссийской научно-технической школы-семинара «Передача, обработка, отображение информации». – Ставрополь: СВВАИУ (ВИ), 2009. – С. 38-41.

49. Сныткин И. И., Сныткин Т. И. Взаимокорреляционные функции и свойства производных нелинейных рекуррентных последовательностей // Нелинейный мир. 2014. Т. 12. № 11. С. 44-49.

50. Сныткин И. И., Сныткин Т. И., Кабанова А. А. Общие основы моделирования свойств детерминированности частных автокорреляционных функций двукратных производных нелинейных рекуррентных последовательностей в интересах реализации «третьей решающей схемы» // Нелинейный мир. 2022. № 3. С. 51-60.

51. Сныткин И. И., Сныткин Т. И., Захаренко Д. Г. Моделирование и установление свойств детерминированности частных автокорреляционных функций двукратных производных нелинейных рекуррентных последовательностей «невложенного» типа в интересах реализации третьей решающей схемы // Успехи современной радиоэлектроники. 2023. Т. 77. № 5. С. 35-48.

52. Сныткин И. И., Сныткин Т. И., Захаренко Д. Г. Моделирование и установление свойств детерминированности частных автокорреляционных функций двукратных производных нелинейных рекуррентных последовательностей «вложенного» типа в интересах реализации третьей решающей схемы // Успехи современной радиоэлектроники. 2023. Т. 77. № 7. С. 69-77.

53. Сныткин И. И., Сныткин Т. И., Захаренко Г. И., Захаренко Д. Г. «Третья решающая схема» – новый перспективный метод ускоренного поиска и эффективного приёма шумоподобных сигналов // III Всероссийский форум с международным участием «Академические Жуковские чтения», г. Воронеж, 22-24 ноября 2023 г.: Сборник тезисов докладов и докладов круглых столов. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА» им. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, 2023. – С. 132-135.

54. Сныткин И. И., Сныткин Т. И., Захаренко Г. И., Захаренко Д. Г. Моделирование и установление свойств и закономерностей частных автокорреляционных функций (ЧАКФ) производных двукратных производных нелинейных рекуррентных последовательностей (ПНЛРП) в интересах реализации третьей решающей схемы // III Всероссийский форум с международным участием «Академические Жуковские чтения», г. Воронеж, 22-24 ноября 2023 г.: Сборник тезисов докладов и докладов круглых столов. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА» им. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, 2023. – С. 136-140.

55. Сныткин И. И., Сныткин Т. И., Захаренко Г. И., Захаренко Д. Г. Свойства и закономерности частных автокорреляционных функций (ЧАКФ) производных нелинейных рекуррентных последовательностей (ПНЛРП) в интересах реализации «третьей решающей схемы» // Всероссийская НТК «Актуальные вопросы развития систем и сетей связи (DCSN-2023)»: Сборник материалов Всероссийской НТК (г. Ставрополь, 10-20 ноября 2023 г.). – Ставрополь: издательство СКФУ, 2024. С. 194-197.

56. Сныткин И. И., Сныткин Т. И., Захаренко Г. И., Захаренко Д. Г. Повышение эффективности приема-обработки информации и достоверности принятия решения в информационных системах со сложными сигналами на основе «третьей решающей схемы» // Всероссийская НТК «Актуальные вопросы развития систем и сетей связи (DCSN-2023)»: Сборник материалов Всероссийской НТК (г. Ставрополь, 10-20 ноября 2023 г.). – Ставрополь: издательство СКФУ, 2024. С. 190-194.

57. Сныткин И. И., Воробьев В. Е., Афонин И. Е., Сныткин Т. И., Афонин Л. И. Установление свойств детерминированности частных автокорреляционных функций производных нелинейных рекуррентных

последовательностей «комбинированного типа» вида $L = l_1 l_2 = (4t, 4t+1)$ в интересах реализации «третьей решающей схемы» // «Передача, обработка, отображение информации»: сборник трудов конференции (г. Краснодар – п. Терскол, Кабардино-Балкарской республики, 23-30 апреля 2024 г.). – М., 2024. – С. 288-296.

58. Сныткин И. И., Воробьев В. Е., Афонин И. Е., Сныткин Т. И., Афонин Л. И. Моделирование и установление свойств детерминированности частных автокорреляционных функций производных нелинейных рекуррентных последовательностей «комбинированного типа» вида $L = l_1 l_2 = (4t, 4t+3)$ в интересах реализации «третьей решающей схемы» // «Передача, обработка, отображение информации»: сборник трудов конференции (г. Краснодар – п. Терскол, Кабардино-Балкарской республики, 23-30 апреля 2024 г.). – М., 2024. – С. 297-305.

59. Сныткин И. И., Захаренко Г. И., Захаренко Д. Г. Моделирование и оценка свойств детерминированности частных автокорреляционных функций двукратных производных нелинейных рекуррентных последовательностей «комбинированного» типа в интересах реализации третьей решающей схемы // XV Международная научно-практическая конференция молодых ученых, посвященная 64-й годовщине полета Ю.А. Гагарина в космос (г. Краснодар, 15-16 апреля 2025 г.). – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2025. – С. 15-20.

60. Сныткин И. И., Захаренко Г. И., Захаренко Д. Г. Моделирование и оценка свойств детерминированности частных автокорреляционных функций двукратных производных нелинейных рекуррентных последовательностей «комбинированного» типа в интересах реализации третьей решающей схемы // 34-я Всероссийская научно-практическая конференция «Передача, обработка, отображение информации» (п. Терскол, Кабардино-Балкарская республика, 23-30 апреля 2025 г.). – М., 2025. – С. 353-357.

61. Сныткин И. И., Афонин И. Е., Сныткин Т. И., Афонин Л. И. Техно-алгоритмические предложения по обеспечению реализации «третьей решающей схемы» приёма-обработки широкополосных шумоподобных сигналов в виде двукратных производных нелинейных рекуррентных последовательностей «вложенного» типа // 34-я Всероссийская научно-практическая конференция «Передача, обработка, отображение информации» (п. Терскол, Кабардино-Балкарская республика, 23-30 апреля 2025 г.). – М., 2025. – С. 357-371.

62. Сныткин И. И., Сныткин Т. И., Афонин И. Е., Афонин Л. И. Моделирование и установление свойств детерминированности частных автокорреляционных функций двукратных производных нелинейных рекуррентных последовательностей «комбинированного» типа в интересах реализации «третьей решающей схемы» // Техника средств связи. 2025. № 3 (171). С. 26-45.

63. Сныткин Т. И., Сныткин И. И., Спирин А. В. Способ ускоренного поиска широкополосных сигналов и устройство его реализации // Патент на изобретение RU 2514133 С2, опубл. 27.04.2014, бюл. № 12.

64. Сныткин И. И., Сныткин Т. И., Кокорева О. С. Устройство третьей решающей схемы ускоренного поиска и эффективного приема широкополосных сигналов // Патент на изобретение RU 2718753 С1, опубл. 14.04.2020, бюл. № 11.

65. Сныткин И. И., Сныткин Т. И., Кокорева О. С. Способ третьей решающей схемы ускоренного поиска и эффективного приема широкополосных сигналов // Патент на изобретение RU 2730389 С1, опубл. 21.08.2020, бюл. № 24.

66. Сныткин И. И., Сныткин Т. И., Кокорева О. С., Захаренко Г. И. Устройство третьей решающей схемы ускоренного поиска и эффективного приема широкополосных сигналов // Патент на изобретение RU 2766859 С1, опубл. 16.03.2022, бюл. № 8.

67. Сныткин И. И., Сныткин Т. И., Захаренко Г. И., Кокорева О. С. Способ третьей решающей схемы ускоренного поиска и эффективного приема широкополосных сигналов // Патент на изобретение RU 2782676 С2, опубл. 31.10.2022, бюл. № 31.

68. Сныткин И. И., Сныткин Т. И., Захаренко Г. И., Захаренко Д. Г., Никулин В. Н. Способ третьей решающей схемы ускоренного поиска и эффективного приема широкополосных сигналов // Патент на изобретение RU 2821352 С1, опубл. 21.06.2024 г., бюл. № 18.

69. Сныткин И. И., Сныткин Т. И., Захаренко Г. И., Захаренко Д. Г., Никулин В. Н. Устройство третьей решающей схемы ускоренного поиска и эффективного приема широкополосных сигналов // Патент на изобретение RU 2808721 С1, опубл. 04.12.2023 г., бюл. № 34.

References

1. Klovskij D. D. *Teoriya peredachi signalov* [Theory of signal transmission]. Moscow, "Svyaz" Publ., 1973, 376 p. (in Russian).

2. Smirnov V. A. *Priblizhennyye metody rascheta pomexoustojchivosti i iskazhenij v sistemah peredachi informacii* [Approximate methods for calculating noise immunity and distortion in information transmission systems]. Moscow, "Svyaz" Publ., 1975, 96 p. (in Russian).

3. Suprun V. A. *Pervichnye kody* [Primary codes]. Moscow, "Svyaz" Publ., 1970, 161 p. (in Russian).

4. Cymbal V. P. *Teoriya informacii i kodirovaniya* [Information theory and coding]. Kyiv, "Vishcha shkola" Publ., 1977, 288 p. (in Russian).

5. Varakin L. E. *Sistemy svyazi s shumopodobnymi signalami* [Communication systems with noise-like signals]. Moscow, "Radio i svyaz" Publ., 1985, 290 p. (in Russian).

6. Zhuravlev V. I. *Poisk i sinhronizaciya v shirokopolosnyh sistemah* [Search and synchronization in broadband systems]. Moscow, "Radio i svyaz" Publ., 1986, 240 p. (in Russian).

7. Tuzov G. I. *Pomekhozashchishchennost' radiosistem so slozhnymi signalami* [Noise immunity of radio systems with complex signals]. Moscow, "Radio i svyaz" Publ., 1985, 264 p. (in Russian).

8. Fink L. M. *Teoriya peredachi diskretnyh soobshchenij* [Theory of discrete message transmission]. Moscow, "Sovetskoe radio" Publ., 1970, 728 p. (in Russian).
9. Pestryakov V.B. *Shumopodobnye signaly v sistemah peredachi informacii* [Noise-like signals in information transmission systems]. Moscow, "Sovetskoe radio" Publ., 1973, 302 p. (in Russian).
10. Dixon R. C. *Spread spectrum systems*. New York, Wiley Interscience Publ., 1976, 318 p. (in English).
11. Shannon C. E. *Raboty po teorii informacii i kibernetike* [Works on information theory and cybernetics]. Moscow, "Izdatelstvo inostrannoj literatury" Publ., 1963, 829 p. (in Russian).
12. Sverdlik M. B. *Optimal'nye diskretnye signaly* [Optimal discrete signals]. Moscow, "Sovetskoe radio" Publ., 1975, 200 p. (in Russian).
13. Lidl R., Niderrajter G. *Konechnye polya* [Final fields]. Moscow, "Mir" Publ., 1988, 468 p. (in Russian).
14. Golomb S. *Digital communications with space applications*. Englewood Cliffs, New Jersey, 1964, 210 p. (in English).
15. Brennan D. G. On the Maximum Signal to Noise Radio Realizable from Several Noise Signals. *Proc. IRE*, 1956, vol. 43, no. 10, p. 1530.
16. Hoffman L. J. *Sovremennye metody zashchity informacii* [Modern methods of information protection]. Moscow, "Sovetskoe radio" Publ., 1988, 215 p. (in Russian).
17. State Standard 7498-2-99. Information technology. The interconnection of open systems. The basic reference model. Part 2. Information security architecture. Moscow, "Gosstandart Rossii" Publ., 1999. 36 p. (in Russian).
18. Marder N. S. Smena paradigmy telekommunikacij i semiurovnevaya model' vzaimodejstviya otkrytyh system [A change in the telecommunications paradigm and a seven-level model of open systems interaction]. *Electrosvyaz*, 2007, no. 7, pp. 9-10 (in Russian).
19. Snytkin I. I., Buryum V. I., Serobabin A. G. Sinhronizaciya po zaderzhke pri cifrovoj obrabotke sverhdlinnyh rekurrentnyh posledovatel'nostej [Delay synchronization in the digital processing of ultra-long recurrent sequences]. *Radioelectronics and Communications Systems*, 1990, no. 7, pp.31-35 (in Russian).
20. Snytkin I. I., Snytkin T. I. Theoretical basis of synthesis and research of multiplied nonlinear recurrent sequences. *Nelineinyi mir*, 2014, vol.12, no. 6, pp. 17-25 (in Russian).
21. Snytkin I. I., Snytkin T. I. Research and evaluation of properties and characteristics of periodic autocorrelation functions two fold multiplied nonlinear recurrent sequences. *Nelineinyi mir*, 2014, vol. 12, no. 8, pp. 28-34 (in Russian).
22. Snytkin I. I., Snytkin T. I. Development of elements of theory of third decisive scheme of the admission of multiplied nonlinear recurrent sequences. *Nelineinyi mir*, 2015, vol. 13, no. 5, pp. 78-84 (in Russian).
23. Snytkin I. I., Snytkin T. I. General basis for modeling the properties of determinity of particular autocorrelation functions of double derivatives of nonlinear recurrent sequences in the interests of the "third decision scheme" implementation. *Nelineinyi mir*, 2022, vol. 20, no. 3, pp. 51-60 (in Russian).

24. Snytkin I. I., Snytkin T. I. Algorithm for implementation of the "third decision scheme" of increasing the efficiency of search and synchronization of difficult broadband noise like signals. *Elektromagnitnye volny i elektronnye sistemy*, 2021, vol. 26, no. 3, pp. 54-63 (in Russian).

25. Snytkin I. I., Snytkin T. I. Technical and algorithmic proposals for the implementation of the third decision scheme in the interests of ensuring the efficiency of receiving and processing broadband noise-like signals based on a two-fold derivative of a non-nested non-embedded non-linear recurrent sequences. *Uspekhi sovremennoi radioelektroniki*, 2023, vol. 77, no. 9, pp. 35-43 (in Russian).

26. Snytkin I. I., Snytkin T. I. Modeling and determination of determinacy properties of partial autocorrelation functions of two-fold derivatives of nonlinear recurrent sequences of "nested" type in the interests of the implementation of the third crucial scheme. *Uspekhi sovremennoi radioelektroniki*, 2022, vol. 77, no. 7, pp. 69-77 (in Russian).

27. Snytkin I. I., Snytkin T. I., Zaharenko D. G. Modeling and establishing the properties of determinism of partial autocorrelation functions of double derivatives of recurrent sequences of "non-nested" type in the interests of implementing the third decision scheme. *Uspekhi sovremennoi radioelektroniki*, 2023, vol. 77, no. 5, pp. 35-47 (in Russian).

28. Snytkin T. I. Analog modes of decision-making on reception in theory of third decisive scheme. *Nelineinyi mir*, 2018, vol. 16, no. 6, pp. 27-30 (in Russian).

29. Snytkin T. I., Krupenin A. V., Snytkin I. I., Spirin A. V. *Ustrojstvo formirovaniya sistem dvukratnyh proizvodnyh nelinejnyh rekurrentnyh posledovatelnostej* [A device for forming systems of two-fold derivatives of nonlinear recurrent sequences]. Patent Russia, no. 2553057. 2015. (in Russian).

30. Snytkin I. I., Zaharenko G. I., Snytkin T. I., Nikulin V. N., Zaharenko D. G. *Ustrojstvo formirovaniya sistem trekhkratnyh proizvodnyh nelinejnyh rekurrentnyh posledovatelnostej* [A device for forming systems of triple derivatives of nonlinear recurrent sequences]. Patent Russia, no. 2792598. 2023. (in Russian).

31. Snytkin I. I., Spirin A. V., Snytkin T. I. The theoretical concept of generating nonlinear recurrent sequences of using shift register. *Nelineinyi mir*, 2013, vol. 11, no. 8, pp. 531-539 (in Russian).

32. Snytkin I. I., Snytkin T. I. Synthesis of independent automatic machines of generating of nonlinear recurrent sequences (nrs) in the form of discrete cyclic sequences. *Nelineinyi mir*, 2013, vol. 11, no. 10, pp. 702-715 (in Russian).

33. Snytkin I. I., Snytkin T. I. Synthesis of independent automatic machines of generating of optimum nonlinear recurrent sequences of the set duration. *Nelineinyi mir*, 2013, vol. 11, no. 11, pp. 776-781 (in Russian).

34. Snytkin I. I., Snytkin T. I. Methods and synthesis of hardware of nonlinear recurrent sequences code dictionaries of the fixed duration generating. *Nelineinyi mir*, 2013, vol. 11, no. 12, pp. 836-852 (in Russian).

35. Snytkin I. I., Snytkin T. I. Theoretical basis of synthesis and research of multiplied nonlinear recurrent sequences. *Nelineinyi mir*, 2014, vol. 12, no. 6, pp. 17-31 (in Russian).

36. Snytkin I. I., Berezhnov A. N. Avtokorrelyacionnaya funkciya kak informacionnyj parameter [Autocorrelation function as an information parameter]. *Materialy chetvertoj mezhhregional'noj nauchnoj konferencii "Studencheskaya nauka – ekonomike Rossii"* [Proceedings of the 4th Interregional Scientific Conference "Student Science – Economics of Russia"]. Stavropol, North Caucasus State Technical University, 2003, pp. 48-59 (in Russian).

37. Snytkin I. I., Berezhnov A. N., Fedoseev V. E. Bystryj poisk proizvodnyh nelinejnyh rekurrentnyh posledovatel'nostej na osnove vzaimokorrelyacionnoj funkicii s proizvodnyashchimi komponentami [Fast search for derivatives of nonlinear recurrent sequences based on a correlation function with generating components]. *Sbornik referatov deponirovannyh rukopisej*. Moscow, Military Scientific Information Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 2004, pp. 71-78 (in Russian).

38. Snytkin I. I., Berezhnov A. N., Fedoseev V. E. Poisk shirokopolosnyh signalov s mnogopikovoj periodicheskoj funkciej avtokorrelyacii [Search for broadband signals with a multi-peak periodic autocorrelation function]. *Sbornik referatov deponirovannyh rukopisej*. Moscow, Military Scientific Information Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 2004, pp. 111-120 (in Russian).

39. Snytkin T. I., Fedoseev V. E. Poisk signala navigacionnoj radiolinii s primeneniem proizvodnyh posledovatel'nostej [Search for a navigation radio link signal using derived sequences]. *Grazhdanskaya aviaciya na sovremennom etape razvitiya nauki, tekhniki i obshchestva: tezisy dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii* [Civil aviation at the present stage of development of science, technology and society. Abstracts of Papers of the International Scientific and Technical Conference]. Moscow, Moscow State Technical University of Civil Aviation, 2006, pp. 71-73 (in Russian).

40. Snytkin T. I. Algoritm obrabotki shirokopolosnogo signala na osnove primeneniya proizvodnyh nelinejnyh posledovatel'nostej [Broadband signal processing algorithm based on the use of nonlinear sequence derivatives]. *Nauchnye trudy 33 mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchnoj konferencii "Gagarinskie chteniya"* [Scientific papers of the 33rd International Youth Scientific Conference "Gagarin Readings"]. Moscow, Russian State Technological University named after K. E. Tsiolkovsky, 2007, pp. 112-117 (in Russian).

41. Snytkin T. I., Fedoseev V. E. Povyshenie effektivnosti obrabotki shirokopolosnyh signalov na osnove identifikacii struktury korrelyacionnoj funkicii manipuliruyushchih proizvodnyh nelinejnyh posledovatel'nostej [Improving the efficiency of broadband signal processing based on the identification of the structure of the correlation function of manipulating derivatives of nonlinear sequences]. *Grazhdanskaya aviaciya na sovremennom etape razvitiya nauki, tekhniki i obshchestva: tezisy dokladov mezhdunarodnoj NTK, posvyashchennoj 85-letiyu grazhdanskoj aviacii Rossii* [Civil aviation at the present stage of development of science, technology and society. Abstracts of Papers of the international Scientific and Technical Conference dedicated to the 85th anniversary of Russian Civil aviation]. Moscow, Moscow State Technical University of Civil Aviation, 2008, pp. 54-57 (in Russian).

42. Snytkin T. I., Snytkin I. I., Fedoseev V. E. Uskorenyj poisk SHPS na osnove primeneniya PNLRP [Accelerated search for broadband signals based on the use of derivatives of nonlinear recurrent sequences]. *Tezisy dokladov 1 Vserossijskoj konferencii "Sistemy upravleniya, obrabotki informacii i prinyatiya reshenij"* [Abstracts of Papers of the 1st All-Russian Conference "Management Systems, information processing and decision-making"]. Stavropol, Stavropol Higher Military Aviation Engineering College (Military Institute), 2009, pp. 44-46 (in Russian).

43. Ventcel E.S., Ovcharov L.A. *Teorya sluchajnyh processov i eyo inzhenernye prilozheniya* [Theory of random processes and its engineering applications]. Moscow, "Vysshaya shkola" Publ., 2000, 383 p. (in Russian).

44. Fedoseev V. E., Snytkin I. I., Varfolomeev D. V. *Sposob uskorenogo poiska shirokopolosnyh signalov i ustrojstvo dlya ego realizacii* [A method for accelerated broadband signal search and a device for its implementation]. Patent Russia, no. 2297722. 2007. (in Russian).

45. Snytkin T. I., Kurlyandchik A. P., Fedoseev V. E. Povyszenie operativnosti etapa sinhronizacii sputnikovyh radiolinij VVS [Increasing the efficiency of the synchronization stage of the Air Force satellite radio links]. *Tezisy dokladov 10 mezhvuzovskoj NTK* [Abstracts of Papers of the 10th Interuniversity Scientific and Technical Conference]. Stavropol, Stavropol Higher Military Aviation Engineering College (Military Institute), 2006, pp. 28-31 (in Russian).

46. Snytkin T. I., Fedoseev V. E. Algoritm sinhronizacii shirokopolosnyh navigacionnyh radiolinij [The algorithm of synchronization of broadband navigation radio links]. *Aviakosmicheskie tekhnologii i oborudovanie: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Aerospace technologies and equipment. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Title]. Kazan, Kazan State Technical University, 2006, pp. 121-125 (in Russian).

47. Snytkin T. I., Snytkin I. I., Fedoseev V. E. Elementy teorii tretej reshayushchej skhemy pri optimalnom prieme SHPS [Elements of the theory of the third crucial circuit for optimal reception of broadband signals]. *22 sessiya Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy shkoly-seminara "Peredacha, obrabotka, otobrazhenie informacii"* [Proceedings of the 22 All-Russian Scientific and Technical school-seminar "Transmission, processing, display of information"]. Stavropol, Stavropol Higher Military Aviation Engineering College (Military Institute), 2009, pp. 30-35 (in Russian).

48. Snytkin T. I., Snytkin I. I., Fedoseev V. E. Povyszenie pomekhozashchishchennosti i ustojchivosti sinhronizma radionavigacionnyh sistem s ISZ na osnove ispolzovaniya PNLRP [Increasing the noise immunity and stability of synchronism of radio navigation systems with satellite based on the use of derivatives of nonlinear recurrent sequences]. *22 sessiya Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy shkoly-seminara "Peredacha, obrabotka, otobrazhenie informacii"* [Proceedings of the 22 All-Russian Scientific and Technical school-seminar "Transmission, processing, display of information"]. Stavropol, Stavropol Higher Military Aviation Engineering College (Military Institute), 2009, pp. 38-41 (in Russian).

49. Snytkin I. I., Snytkin T. I. Cross-correlation function and properties of multiplied nonlinear recurrent sequences. *Nelineinyi mir*, 2014, vol. 12, no. 11, pp. 44-49 (in Russian).

50. Snytkin I. I., Snytkin T. I., Kabanova A. A. General basis for modeling the properties of determinism of particular autocorrelation functions of double derivatives of nonlinear recurrent sequences in the interests of the "third decision scheme" implementation. *Nelineinyi mir*, 2022, no. 3, pp. 51-60 (in Russian).

51. Snytkin I. I., Snytkin T. I., Zaharenko D. G. Modeling and establishing the properties of determinism of partial autocorrelation functions of double derivatives of recurrent sequences of "non-nested" type in the interests of implementing the third decision scheme. *Uspekhi sovremennoi radioelektroniki*, 2023, vol. 77, no. 5, pp. 35-48 (in Russian).

52. Snytkin I. I., Snytkin T. I., Zaharenko D. G. Modeling and establishing the properties of determinism of partial autocorrelation functions of double derivatives of non-linear recurrent sequences of "nested" type in the interests of implementing the third decision scheme. *Uspekhi sovremennoi radioelektroniki*, 2023, vol. 77, no. 7, pp. 69-77 (in Russian).

53. Snytkin I. I., Snytkin T. I., Zaharenko G. I., Zaharenko D. G. "Tret'ya reshayushchaya skhema" – novyj perspektivnyj metod uskorenogo poiska i effektivnogo priyoma shumopodobnyh signalov [The "Third decisive Scheme" is a new promising method for accelerated search and efficient reception of noise-like signals]. *3 Vserossijskij forum s mezhdunarodnym uchastiem «Akademicheskie Zhukovskie chteniya». Sbornik tezisov dokladov i dokladov kruglyh stolov* [3rd All-Russian Forum with international participation "Academic Zhukovsky Readings". Collection of abstracts and reports of round tables]. Voronezh, Military Training and Research Center of the Air Force "Military Air Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin" (Voronezh), 2023, pp. 132-135 (in Russian).

54. Snytkin I. I., Snytkin T. I., Zaharenko G. I., Zaharenko D. G. Modelirovanie i ustanovlenie svojstv i zakonomernostej chastnyh avtokorrelyacionnyh funkcion (CHAKF) proizvodnyh dvukratnyh proizvodnyh nelinejnyh rekurrentnyh posledovatel'nostej (PNLRP) v interesah realizacii tret'ej reshayushchej skhemy [Modeling and establishing the properties and patterns of partial autocorrelation functions of derivatives of two-fold derivatives of nonlinear recurrent sequences in the interests of implementing the third crucial scheme]. *3 Vserossijskij forum s mezhdunarodnym uchastiem «Akademicheskie Zhukovskie chteniya». Sbornik tezisov dokladov i dokladov kruglyh stolov* [3rd All-Russian Forum with international participation "Academic Zhukovsky Readings". Collection of abstracts and reports of round tables]. Voronezh, Military Training and Research Center of the Air Force "Military Air Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin" (Voronezh), 2023, pp. 136-140 (in Russian).

55. Snytkin I. I., Snytkin T. I., Zaharenko G. I., Zaharenko D. G. Properties and regularities of partial autocorrelation functions (CACF) of derivatives of nonlinear recurrent sequences (PNLRP) and their use in the interests of the implementation of the "third decisive scheme". *Vserossijskaya NTK "Aktualnye voprosy razvitiya sistem i setej svyazi (DCSN-2023)". Sbornik materialov* [Topical issues of development of

communication systems and networks (DCSN-2023)]. Stavropol, North Caucasus Federal University, 2024, pp. 194-197 (in Russian).

56. Snytkin I. I., Snytkin T. I., Zaharenko G. I., Zaharenko D. G. Improving the efficiency of receiving and processing information and the reliability of decision-making in information systems with complex signals based on the "third decision scheme". *Vserossijskaya NTK "Aktualnye voprosy razvitiya sistem i setej svyazi (DCSN-2023)". Sbornik materialov* [Topical issues of development of communication systems and networks (DCSN-2023)]. Stavropol, North Caucasus Federal University, 2024, pp. 190-194 (in Russian).

57. Snytkin I. I., Vorob'ev V. E., Afonin I. E., Snytkin T. I., Afonin L. I. Ustanovlenie svojstv determinirovannosti chastnyh avtokorelyacionnyh funkcij proizvodnyh nelinejnyh rekurrentnyh posledovatel'nostej "kombinirovannogo tipa" vida $L = 11 \quad l_2 = (4t, 4t+1)$ v interesah realizacii "tret'ej reshayushchej skhemy" [Determination of the determinacy properties of partial autocorrelation functions of derivatives of nonlinear recurrent sequences of the "combined type" of the form $L = 11 \quad l_2 = (4t, 4t+1)$ in the interests of the implementation of the "third decisive scheme"]. *"Peredacha, obrabotka, otobrazhenie informacii". Sbornik trudov konferencii* ["Transmission, processing, and display of information." Proceedings of the conference]. Moscow, 2024, pp. 288-296. (in Russian).

58. Snytkin I. I., Vorob'ev V. E., Afonin I. E., Snytkin T. I., Afonin L. I. Modelirovanie i ustanovlenie svojstv determinirovannosti chastnyh avtokorelyacionnyh funkcij proizvodnyh nelinejnyh rekurrentnyh posledovatel'nostej "kombinirovannogo tipa" vida $L = 11 \quad l_2 = (4t, 4t+3)$ v interesah realizacii "tret'ej reshayushchej skhemy" [Modeling and determination of determinacy properties of partial autocorrelation functions of derivatives of nonlinear recurrent sequences of the "combined type" of the form $L = 11 \quad l_2 = (4t, 4t+3)$ in the interests of the implementation of the "third decisive scheme"]. *"Peredacha, obrabotka, otobrazhenie informacii". Sbornik trudov konferencii* ["Transmission, processing, and display of information". Proceedings of the conference]. Moscow, 2024, pp. 288-296 (in Russian).

59. Snytkin I. I., Zaharenko G. I., Zaharenko D. G. Modeling and establishing the properties of determinism of partial autocorrelation functions of double derivatives of non-linear recurrent sequences of "combined" type in the interests of implementing the third decision scheme. *25 Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya molodyh uchenyh, posvyashchennaya 64 godovshchine poleta Yu. A. Gagarina v kosmos* [The 25th International Scientific and Practical Conference of Young Scientists dedicated to the 64th anniversary of Yuri Gagarin's flight into space]. Krasnodar, "Izdatelskij Dom – Yug" Publ., 2025, pp. 15-20 (in Russian).

60. Snytkin I. I., Zaharenko G. I., Zaharenko D. G. Modelirovanie i oценка svojstv determinirovannosti chastnyh avtokorrelyacionnyh funkcij dvukratnyh proizvodnyh nelinejnyh rekurrentnyh posledovatel'nostej "kombinirovannogo" tipa v interesah realizacii tret'ej reshayushchej skhemy [Modeling and evaluation of determinacy properties of partial autocorrelation functions of two-fold derivatives of nonlinear recurrent sequences of the "combined" type in the interests of the

implementation of the third crucial scheme]. 34 *Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya "Peredacha, obrabotka, otobrazhenie informacii"* [34th All-Russian Scientific and Practical Conference "Transmission, Processing, display of information"]. Moscow, 2025, pp. 353-357 (in Russian).

61. Snytkin I. I., Afonin I. E., Snytkin T. I., Afonin L. I. *Tekhniko-algoritmicheskie predlozheniya po obespecheniyu realizacii "tretej reshayushchej skhemy" priyoma-obrabotki shirokopolosnyh shumopodobnyh signalov v vide dvukratnyh proizvodnyh nelinejnyh rekurrentnyh posledovatel'nostej "vlozhennogo" tipa* [Technical and algorithmic proposals to ensure the implementation of the "third crucial scheme" for receiving and processing broadband noise-like signals in the form of two-fold derivatives of nonlinear recurrent sequences of a "nested" type]. 34 *Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya "Peredacha, obrabotka, otobrazhenie informacii"* [34th All-Russian Scientific and Practical Conference "Transmission, Processing, display of information"]. Moscow, 2025, pp. 353-357 (in Russian).

62. Snytkin I. I., Snytkin T. I., Afonin I. E., Afonin L. I. Modeling and determination of determinacy properties of partial autocorrelation functions of two-fold derivatives of nonlinear recurrent sequences of the "combined" type in the interests of the implementation of the "third decisive scheme". *Means of communication equipment*, 2025, no. 3 (171), pp. 26-45 (in Russian).

63. Snytkin T. I., Snytkin I. I., Spirin A. V. *Sposob uskorenno poiska shirokopolosnyh signalov i ustrojstvo ego realizacii* [A method for accelerated broadband signal search and a device for its implementation]. Patent Russia, no. 2514133. 2014. (in Russian).

64. Snytkin I. I., Snytkin T. I., Kokoreva O. S. *Ustrojstvo tret'ej reshayushchej skhemy uskorenno poiska i effektivnogo priema shirokopolosnyh signalov* [The device of the third crucial scheme for accelerated search and efficient reception of broadband signals]. Patent Russia, no. 2718753. 2020. (in Russian).

65. Snytkin I. I., Snytkin T. I., Kokoreva O. S. *Sposob tret'ej reshayushchej skhemy uskorenno poiska i effektivnogo priema shirokopolosnyh signalov* [The method of the third crucial scheme for accelerated search and efficient reception of broadband signals]. Patent Russia, no. 2730389. 2020. (in Russian).

66. Snytkin I. I., Snytkin T. I., Kokoreva O. S., Zaharenko G. I. *Ustrojstvo tret'ej reshayushchej skhemy uskorenno poiska effektivnogo priema shirokopolosnyh signalov* [The device of the third crucial scheme for accelerated search for effective reception of broadband signals]. Patent Russia, no. 2766859. 2022. (in Russian).

67. Snytkin I. I., Snytkin T. I., Zaharenko G. I., Kokoreva O. S. *Sposob tret'ej reshayushchej skhemy uskorenno poiska i effektivnogo priema shirokopolosnyh signalov* [The method of the third crucial scheme for accelerated search and efficient reception of broadband signals]. Patent Russia, no. 2782676. 2022. (in Russian).

68. Snytkin I. I., Snytkin T. I., Zaharenko G. I., Zaharenko D. G., Nikulin V. N. *Sposob tret'ej reshayushchej skhemy uskorenno poiska i effektivnogo priema shirokopolosnyh signalov* [The method of the third crucial scheme for accelerated

search and efficient reception of broadband signals]. Patent Russia, no. 2821352. 2024. (in Russian).

69. Snytkin I. I., Snytkin T. I., Zaharenko G. I., Zaharenko D. G., Nikulin V. N. *Ustrojstvo tret'ej reshayushchej skhemy uskorennogo poiska effektivnogo priema shirokopolosnyh signalov* [The device of the third crucial scheme for accelerated search for effective reception of broadband signals]. Patent Russia, no. 2808721. 2023. (in Russian).

Статья поступила 15 ноября 2025 г.

Информация об авторах

Сныткин Иван Илларионович – доктор технических наук, профессор. Профессор кафедры боевых авиационных комплексов. Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков. Область научных интересов: теория систем сигналов, информационная безопасность, эффективность систем передачи информации. E-mail: snytkin2072@mail.ru

Адрес: Россия, 350090, г. Краснодар, ул. Дзержинского, д. 135.

Афонин Илья Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент. Доцент кафедры авиационного и радиоэлектронного оборудования. Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков. Область научных интересов: информационный конфликт средств воздушно-космического нападения и системы воздушно-космической обороны; радиолокационные системы обнаружения, распознавания и целеуказания; прием и обработка сигналов. E-mail: ilyaafonin@yandex.ru

Адрес: 350090, Россия, г. Краснодар, ул. Дзержинского, д. 135.

Захаренко Дмитрий Геннадиевич – инженер отдела информационных технологий. Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков. Область научных интересов: теория систем сигналов, защита информации. E-mail: dia61o@yandex.ru

Адрес: 350090, Россия, г. Краснодар, ул. Дзержинского, д. 135.

The third decisive scheme is a promising new direction for improving the efficiency of receiving and processing complex broadband noise-like signals

I. I. Snytkin, I. E. Afonin, D. G. Zaharenko

Relevance. At certain stages of the development of the theory and practice of designing and creating information transmission systems (ITS), certain scientific and technical categories and concepts were formed (as objectively necessary), which made it possible to carry out research (analysis and synthesis) at a systematic professional level ITS; professional and special dialogue between scientists, designers, practitioners; progressive development of the theory of ITS. For example, the categories that have abbreviated the process of using information signals in ITS – simple and narrow-band – in particular, include: "first" and "second" formative circuits (FFC and SFC), "first" and "second" decisive circuits (FDC and SDC). Since the beginning and widespread use of complex broadband signals (broadband noise-like signals – BDLS or BBS) based on pseudorandom sequences (PRS), complex discrete and digital methods of modulation, digital com-

munication, etc., the processes of formation, reception and processing of BBS required the introduction of new scientific and technical professional methods. necessary categories, for example: "broadband modulation", "correlation reception", etc. And the tasks that have arisen are to develop and study the correlation properties of all new classes of BBS with improved noise-proof and special properties (in terms of secrecy, imitation resistance, cryptographic resistance, etc.), for example, – classes of derivatives and composite BBS have led to the need to: review the validity and expediency of using the thesis "randomness" in relation to the correlation functions (CRF) of BBS, and introduce into theory and practice the thesis "determinism" of the CRF of BBS to improve the efficiency of receiving and processing BBS and the reliability of information transmission within the framework of new methods and scientific and technical schemes. Over the past 20 years, the authors of this article have begun to refer to such methods and schemes as an emerging new necessary category – the "third decisive scheme" (TDS) – as a set of algorithms, mathematical models, methods and technical solutions – devices that significantly improve the efficiency of reception and processing procedures, primarily derivatives and composite BBS based on the use of properties and patterns of determinacy of the CRF BBS. **The aim of the paper** is to review the scientific and practical publication process for the development of the TDS category and the study of the properties and patterns of the CRF PRS (as the basis of BBS) in the form of derivatives of nonlinear recurrent sequences (NLRS), which have the most promising (currently) and wide range of applications in ITS, which are subject to high requirements for noise immunity (noise immunity, various types of stealth type, image security), cryptographic stability, and information security in general. **Methods used:** modeling (mathematical, structural), including machine modeling, mathematical formalization of the properties and patterns of determinism of the CRF. **Results.** The article provides an overview of the results of modeling the TDS method, the properties and patterns of determinism of the CRF (partial auto- and intercorrelation functions) of the NLRS, and technical solutions for the implementation of TDS. **Practical significance.** Is to acquaint specialists in the field of BBS with the essence, results of the development of methods and methods of TDS, studies of the properties and patterns of determinism of the CRF of NLRS, which have certainly wide practical application.

Keywords: correlation function, partial autocorrelation and intercorrelation functions, complex noise-like signals, pseudorandom sequences, derived nonlinear recurrent sequences, NLRS, third decision scheme, first and second decision schemes, correlation technique, determinacy of the correlation function, properties and patterns of determinacy of correlation functions, A-synchronization and B-synchronization of NLRS, sequence of coincidence numbers, types, types, classes of double (D) NLRS.

Information about Authors

Ivan Illarionovich Snytkin – Dr. habil. of Engineering Sciences, Full Professor. Professor of the Department of Combat Aviation Complexes. Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots. Field of research: theory of signal systems, information security, efficiency of information transmission systems. E-mail: snytkin2072@mail.ru

Address: 350090, Russia, Krasnodar, Dzerzhinsky Street, 135.

Ilya Evgenievich Afonin – Ph.D. of Engineering Sciences, Docent. Associate Professor at the Department of aviation and radio-electronic equipment. Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots. Field of research: information conflict of air and space attacking means and air and space defense systems; radar detection; recognition and target designation systems; radar signal processing. E-mail: ilyaafonin@yandex.ru

Address: 350090, Russia, Krasnodar, Dzerzhinsky Street, 135.

Dmitrij Gennadievich Zaharenko – Engineer at the Information Technology Department. Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots. Field of research: theory of signal systems; information protection. E-mail: dia61o@yandex.ru

Address: 350090, Russia, Krasnodar, Dzerzhinsky Street, 135.