

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.396.9

Лэ
Дык Бао Тоан

Синтез и анализ устройств оценки временного положения шумоподобного сигнала в широкополосных системах связи

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-39 80 02 Радиотехника, в том числе системы и устройства радионавигации, радиолокации и телевидения

Научный руководитель
КАРПУШКИН Эдуард Михайлович
Доцент кафедры ИРТ БГУИР
Кандидат технических наук, доцент

Минск 2020

ВВЕДЕНИЕ

Широкополосными (сложными, шумоподобными) сигналами (ШПС) называют такие сигналы, у которых произведения эффективной ширины спектра F на длительность T много больше единицы. Широкополосными сигналами иногда называют сложными в отличие от простых сигналов (например, прямоугольные, треугольные и т.д.).

Широкополосные сигналы (ШПС) успешно используются в радиотехнических системах радиолокации, радионавигации и передачи информации. Основным препятствием к более широкому использованию ШПС является необходимость синхронизации устройств оптимальной обработки ШПС на приемной стороне.

Широкополосные сигналы, используемые для передачи цифровой информации, отличаются тем, что их полоса частот намного больше, чем полоса цифровой информации. Большая избыточность, свойственная широкополосным сигналам, требуется для преодоления высоких уровней интерференции, возникающих при передаче цифровой информации по некоторым радио- и спутниковым каналам. Прямая последовательность (ПП) и скачка частоты (СЧ) являются наиболее общими формами широкополосных сигналов, используемых на практике. Однако можно использовать комбинирование методы для формирования ШПС.

Оптимальная оценка параметров радиосигнала заключается в синтезе структуры, наилучшим образом выделяющей информационный параметр (или несколько параметров), и количественной характеристике качества работы синтезированной структуры. Параметры радиосигнала можно разделить на энергетические (амплитуда, длительность) и неэнергетические (фаза, частота, время запаздывания).

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Так как ШПС обрабатывающая оптимальная то необходимо на приемной стороне знать время прихода полезного сигнала. Поэтому синхронизации заключаются в оценки временного прихода информационного сигнала и слежение за временным положением.

Время необходимая для синхронизации, в общем случае, снижает скорость передачи информации. Поэтому является актуальных задач синхронизации.

Степень разработанности проблемы

Неотъемлемой частью современных широкополосных (ШП) систем связи, радионавигации и радиолокации является временная синхронизация. Основной задачей при создании таких систем является разработка эффективного алгоритма оценки временного положения принимаемого ШП сигнала.

В отечественных и зарубежных источниках уже уделяется внимание.

В данной работе анализируется известный последовательный метод поиска в частности находится необходимо средняя время поиска зависимости отношение сигнала на шум и вероятность ошибочного приема канала связи.

В работе рассматривается беспойсковый метод приема, который характеризует для систем с простым сигналом.

Цель и задачи исследования:

– Синтез и анализ устройств оценки временного положения, который складывается из поиска по временному положению и слежение за временным положением.

– Анализ беспойска метода приема ШПС.

– Потенциальная оценка качества приема для различных методов синхронизации.

Объект исследования: схема слежение за временном положением, беспойсковая схема

Предмет: системы синхронизации

Теоретическая и методологическая основа исследования:

В основу диссертации легли результаты известных исследований белорусских и зарубежных специалистов в области широкополосные системы связи и сигналы, оптимальный прием радиосигналов.

Все расчеты и полученные результаты подтверждались экспериментальными данными с помощью собранного опытного образца системы.

Информационная база исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

Научная новизна:

– Даны числовые оценки поиска по временному положению.

– Даны числовые оценки слежения за временном положением.

– Дана оценка эффективности работы беспойскового приемника.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

– Показаны обзор литературы по широкополосным системам (ШПСС), который включает помехоустойчивость ШПСС, основные виды ШПС, скрытность системы связи принципы оптимальной фильтрации. оптимальный фильтр ШПС, синхронизация в широкополосных системах.

– Исследование анализа поиска по временную положению широкополосных сигналов с основными главными применениями

пseudослучайных сигналов в системе передачи цифровой информации. Достоинства и недостатки каждого метода временного поиска.

- Исследование работы беспойскового приемника, вероятность ошибки.
- Исследование анализа оценки точности слежения за временным положением, который имеет оценка параметров радиосигнала. Конкретно исследования оценка временного положения радиосигнала и представлен результаты компьютерного моделировании алгоритмов поиска.

Апробация диссертации и информации об использовании ее результатов:

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на 55-й и 56-й научных конференциях студентов, магистрантов и аспирантов БГУИР.

Публикации:

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в 3 опубликованных работах, представленных в материалах международных научно-практических и научно-технических конференций. Общий объем публикаций 6 страниц.

Структура и объем работы:

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений.

В первой главе рассматриваются обзор литературы по широкополосным системам (ШПСС)

Во второй главе рассматриваются синхронизация в широкополосных системах, в котором обнаружение и отслеживание.

В третьей главе проведен анализ поиска по временную положению широкополосных сигналов.

В четвертой главе проведен анализ оценки точности слежения за временным положением.

В пятой главе представлены результаты компьютерного моделировании алгоритмов поиска.

Общий объем диссертационной работы составляет 78 страниц. Из них 60 страниц основного текста, 42 иллюстраций, список собственных публикаций соискателя из 3 наименований..

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено широкополосные сигналы, которыми называют такие сигналы, у которых произведения активной ширины спектра F на длительность T много больше единицы, это произведение называется базой сигнала B . Повышение базы в ШПС достигается путем дополнительной

модуляции (или манипуляции) по частоте или фазе на времени длительности сигнала. Кроме того, показаны применение в широкополосных системах связи, временную синхронизацию на приеме относительно принимаемого широкополосного сигнала.

Оптимальная оценка параметров радиосигнала заключается в синтезе структуры, наилучшим образом выделяющей информационный параметр (или несколько параметров), и количественной характеристике качества работы синтезированной структуры.

В первой главе рассматриваются обзор литературы по широкополосным системам (ШПСС), который включает помехоустойчивость ШПСС, основные виды ШПС, скрытность системы связи принципы оптимальной фильтрации. оптимальный фильтр ШПС, синхронизация в широкополосных системах.

Помехоустойчивость ШПСС, одним из основных назначений систем, связи с ШПС является обеспечение надежного приема информации при воздействии мощных помех, когда отношение сигнал-помеха на входе приемника ρ^2 может быть много меньше единицы [1,6,9]. Необходимо еще раз отметить, что приведенные соотношения строго справедливы для помехи в виде гауссовского случайного процесса с равномерной спектральной плотностью мощности («белый» шум).

Основные виды ШПС, известно большое число различных ШПС, свойства которых нашли отражение во многих книгах и журнальных статьях. ШПС подразделяются на следующие виды:

- частотно-модулированные (ЧМ) сигналы;
- частотно-манипулированные (ЧМн) сигналы;
- фазоманипулированные (ФМ) сигналы (сигналы с кодовой фазовой модуляцией - КФМ сигналы);
- дискретные частотные (ДЧ) сигналы (сигналы с кодовой частотной модуляцией - КЧМ сигналы);
- дискретные составные частотные (ДСЧ) (составные сигналы с кодовой частотной модуляцией - СКЧМ сигналы).

Таким образом, наиболее перспективными ШПС для систем связи являются ФМ, ДЧ, ДСЧ-ФМ сигналы.

Скрытность системы связи - это способность противостоять обнаружению и измерению параметров. Скрытность – понятие очень емкое, так как включает в себя большое множество особенностей обнаружения ШПС и измерения их параметров. Поскольку обнаружение ШПС и измерение параметров возможны при различной первоначальной осведомленности (априорной неопределенности) о системе связи, то можно указать только основные соотношения, характеризующие скрытность

Таким образом, чем шире спектр ШПС и чем больше его база, тем выше как энергетическая, так и параметрическая скрытность. Для борьбы с радиоразведкой в помехозащищенных системах связи применяют также смену ШПС. Частота смены ШПС, их выбор из некоторого ансамбля (системы сигналов) определяется многими требованиями к системе связи и не может

быть однозначно определен. Однако полагают, что число сигналов в системе (или объем системы сигналов) должно быть много больше базы ШПС.

Следовательно, использование ШПС повышает помехоустойчивость и скрытность системы связи, т. е. её помехозащищенность. Как следует из материалов зарубежной печати, ШПС используют в спутниковых системах связи, в авиационных системах связи, в радиорелейных линиях, в спутниковых навигационных системах. Повидимому, применение ШПС в помехозащищенных системах связи будет расширяться.

Принципы оптимальной фильтрации. Оптимальный фильтр ШПС. Прием и обработка сигналов различными радиотехническими устройствами, как правило, производится на фоне более или менее интенсивных помех. Выбор системы устройства зависит от того, какую из нижеперечисленных задач приходится при этом решать: Обнаружение сигнала, когда требуется только дать ответ, имеется ли в принятом колебании полезный сигнал или оно образовано только шумом; оценка параметров, когда требуется с наибольшей точностью определить значение одного или нескольких параметров полезного сигнала (амплитуду, частоту, временное положение и т.д.).

Сигнал полностью известен, это значит что заданы его форма и положение на оси времени. Шум представляет собой вероятностный процесс с заданными статистическими характеристиками. Следует: во-первых, ОФ увеличивает отношение сигнал - шум по мощности на выходе в N раз, во-вторых, одна из возможных реализаций оптимального фильтра - коррелятор или программа, вычисляющая АКФ сигнала.

Синхронизация в широкополосных системах, так как синхронизация состоит из поиска временного положения и слежение за временном положением. Далее рассмотреть:

- на основе единого подхода проанализировать различные методы поиска ШПС и получить соотношения для расчета статистических характеристик времени поиска, обобщающие и дополняющие известные результаты;

- сопоставить возможности наиболее перспективных сопоставить методов поиска с многоэтапными процедурами принятия решений;

- показать, что при соответствующем выборе метода поиска и параметров, характеризующих его режим, могут быть реализованы системы поиска с высокими показателями эффективности.

Во второй главе рассматриваются синхронизация в широкополосных системах, в котором обнаружение и отслеживание.

Широкополосные сигналы (сигналы с рассеянным спектром), используемые для передачи цифровой информации, отличаются тем, что их полоса частот намного больше, чем информационная скорость R бит/с. Это значит, что показатель расширения спектра для широкополосных сигналов намного больше единицы. Большая избыточность, свойственная широкополосным сигналам, требуется для преодоления высоких уровней

интерференции, возникающая при передаче цифровой информации по некоторым радио- и спутниковым каналам.

Временную синхронизацию на приёме относительно принимаемого широкополосного сигнала можно разделить на две фазы. Имеется начальная фаза обнаружения сигнала и фаза отслеживания после того, как сигнал начально обнаружен.

Метод последовательного поиска относится к классу методов последовательного оценивания, предложенного Вальдом (1947), который, как известно, даёт более эффективный поиск в том смысле, что среднее время поиска минимизируется. Таким образом, время поиска при последовательном поиске меньше, чем при фиксированном времени пребывания интегратора на каждом чипе.

В третьей главе проведен анализ поиска по временную положению широкополосных сигналов с основными главными применениями пседослучайных сигналов в системе передачи цифровой информации. Достоинства и недостатки каждого метода временного поиска.

Когерентный прием пседослучайных сигналов с дискретной фазовой модуляцией и ортогональной ИМ. Функции СУ включает поиск по временному положению приходящей ПСП и слежение за временным положением приходящей ПСП. Выделение цифровой информации (ЦИ) происходит в режиме слежения. Поиск по временному положению бывает скользящий и пошаговый.

Оценка времени поиска при пошаговом последовательном методе.

Когерентный прием ПС – сигналов с ДФМн и инверсной информационной модуляцией имеет достоинства: ПСП расширяет полосу сигнала, то есть обеспечивается энергетическая скрытность; обеспечивается структурная скрытность при помощи нелинейных алгоритмов задания ПСП; обеспечивается высокая потенциальная помехоустойчивость и информационная защищенность.

Беспоисковый приемник пседослучайных сигналов (автокорреляционный прием ПС - сигналов с ДФМн с информационной модуляцией по задержке): фаза на тактовой частоте на выходе модулятора по задержке изменяется на π по закону информационного сигнала (ПСП). Достоинства метода: простота реализации приемника; не требуется времени поиска для определения начала приходящего ПС – сигнала, нет потери информации; можно беспоисковый приемник использовать для синхронизации поискового. Недостатки метода: по сравнению с когерентным оптимальным приемником таких ПС – сигналов, существует проигрыш в помехоустойчивости.

По сравнению вероятности ошибки при когерентный прием ПС – сигналов ($P_{\text{ошкп}}$), беспоискового приемника ($P_{\text{оштак}}$) пседослучайных сигналов с пошаговом поиском по временному положению ($P_{\text{ошпп}}$):

На основании приведенного выше графика, в том же значении отношения сигнал/шум $q_{\text{вх}}$, вероятность ошибки беспоискового приемника пседослучайных сигналов $P_{\text{ошпп}}$ имеет самая большая вероятность, и самая

маленькая – это вероятность ошибки ($P_{\text{ошкп}}$) поиска при когерентный прием ПС - сигналов с ДФМн и инверсной информационной модуляцией. Расчеты показывают, что для $P_{\text{ошак}} \approx 0,001$ автокорреляционный прием проигрывает когерентному приему ПС - сигнала 7 дБ. Таким образом, путем исследования поиски по временную положению широкополосных сигналов, мы можем реализовать преимущества и недостатки каждого метода временного поиска.

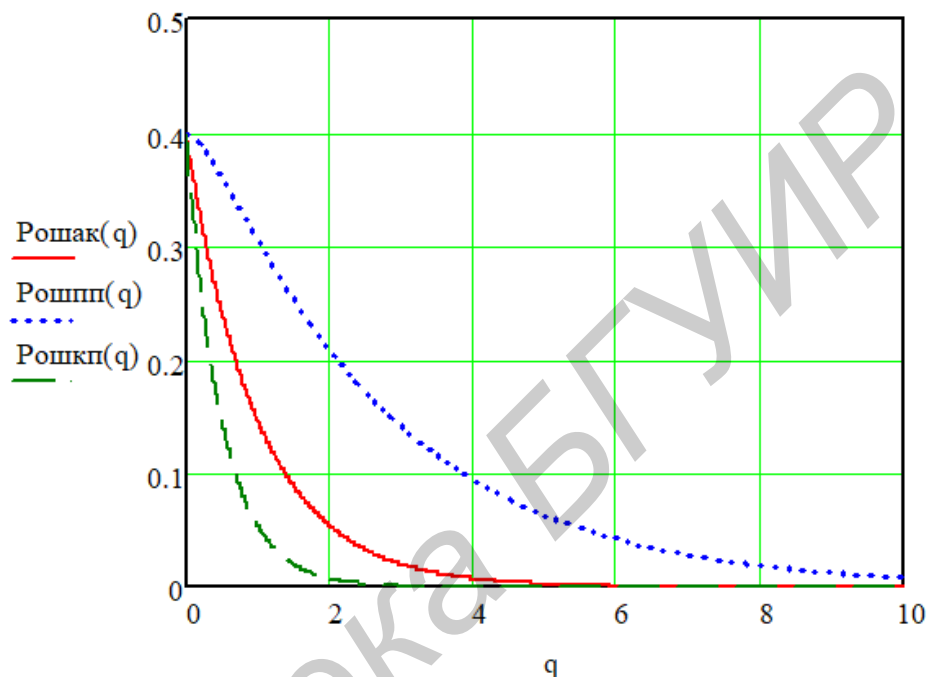


Рисунок 1 - Зависимость вероятности ошибки ($P_{\text{ошак}}$, $P_{\text{ошпп}}$ и $P_{\text{ошкп}}$) оценки временного положения от отношения сигнал/шум ($q_{\text{вх}}$, дБ).

В четвертой главе проведен анализ оценки точности слежения за временным положением. Оптимальная оценка параметров радиосигнала заключается в синтезе структуры, наилучшим образом выделяющей информационный параметр (или несколько параметров), и количественной характеристике качества работы синтезированной структуры. Параметры радиосигнала можно разделить на энергетические (амплитуда, длительность) и неэнергетические (фаза, частота, время запаздывания).

Оценка временного положения радиосигнала. В колебании $x(t) = S(t, \tau) + n(t)$, $0 \leq t \leq T$, где $n(t)$ – белый гауссовский шум с односторонней спектральной плотностью мощности N_0 , а T – время наблюдения, полезный сигнал $S(t, \tau) = S_0(t - \tau) \cos(\omega_0 t + \varphi)$ является функцией от временного положения τ .

Величина эквивалентной полосы частот сигнала мало чем отличается от эффективной полосы частот, занимаемой сигналом, поэтому на практике обычно принимают $F_{\text{эк}} = F_{\text{эф}} = 1000 \text{ Гц}$. Белый шум выбирается с спектральной плотностью мощности. Флюктуационная точность измерения временной задержки $\sigma_{\hat{\tau}}$. Точность оценки временного положения сигнала тем выше, чем

шире полоса частот сигнала и больше отношение сигнал/шум на входе приемника.

Следует дисперсии оценки временного положения:
$$\sigma_{\tau}^2 = \frac{1}{\left(\frac{2E}{N_0}\right) \cdot F_{\text{эк}}^2}$$

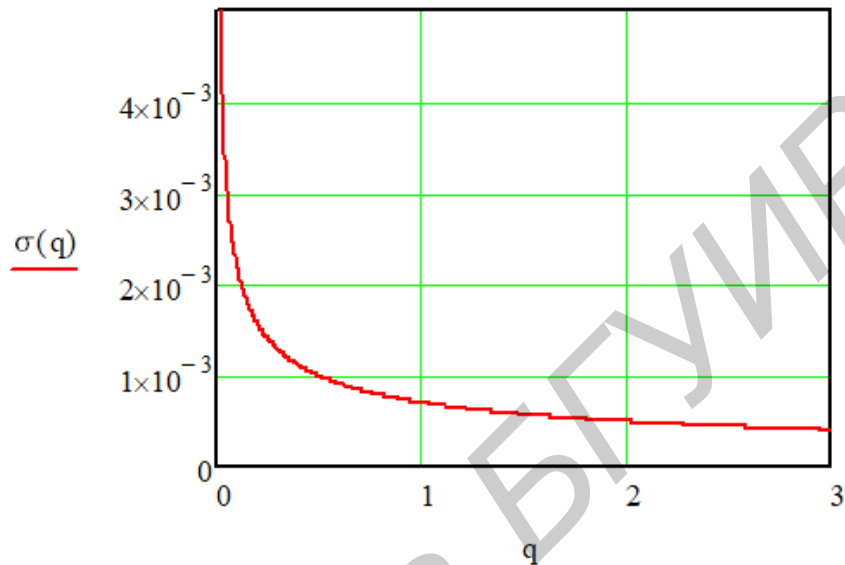


Рисунок 2 - Зависимость дисперсии оценки временного положения от отношения сигнал/шум.

В исследование были получены оценка временного положения, ее дисперсия и флуктуационная точность измерения временного задержки.

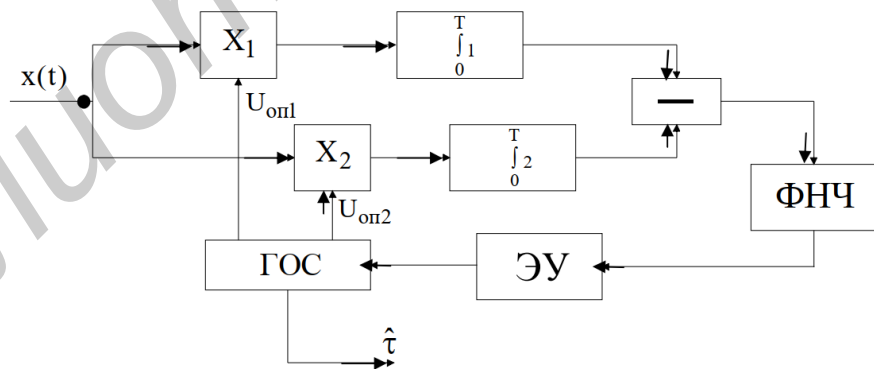


Рисунок 3 - Структура следящего измерителя временного положения сигнала.

Структурная схема оптимально оценивает временную задержку ($\lambda_i = \tau_i$). Можно синтезировать и следящую оценку временного положения, если приравнять к нулю производную от натурального логарифма функционала правдоподобия по измеряемому параметру τ .

Временное смещение Δ выбирается равным или длительности элементарного дискрета, или его половине, если сигнал цифровой. Для непрерывного сигнала Δ равно интервалу дискретизации или половине этого

интервала. Генератор опорного сигнала (ГОС) формирует опорные колебания $U_{on_1} = S(t - \tau + \Delta)$, $U_{on_2} = S(t - \tau - \Delta)$.

Элемент управления (ЭУ) преобразует напряжение рассогласования во временную задержку опорных колебаний. Синтезированные структуры и оценочная характеристика временной задержки составляют основу при проектировании синхронизирующих устройств в системах обработки информационных сигналов.

В пятой главе представлены результаты компьютерного моделирования алгоритмов поиска. Математический синтез устройства с сигналом четверично-кодированной последовательности, синтезировать генератор сигнала $x(t) = S_1(t) + S_2(t)$, с тактовой частотой равной f_T . Экспериментальный случай на примере $S_1(t) - \text{ЧКП } A_0^3$, $S_2(t) - \text{ЧКП } A_1^3$ (четверично-кодированная последовательность), $f_T = 1$ кГц и синтезировать структуру оценки временного положения этого радиосигнала.

Моделирование производится в среде *Simulink*. Генератор искомой последовательности 001 и 000 в среде моделирования *Simulink*.

Временная диаграмма представляет собой график зависимости какого либо параметра сигнала (например, напряжения или тока) от времени. На временной диаграмме сигнала можно наблюдать форму сигнала. Временную диаграмму (осциллограмму) можно визуально наблюдать с помощью специального измерительного прибора – осциллографа.

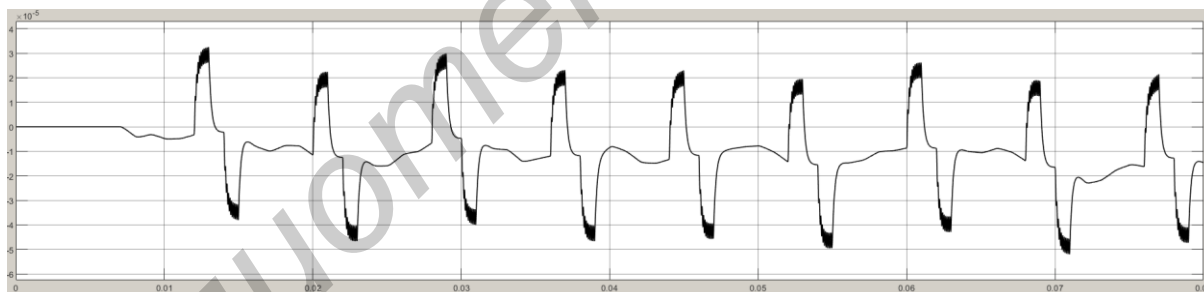


Рисунок 4 – Временная диаграмма оценки временного положения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации проведен синтез и анализ устройств оценки временного положения шумоподобного сигнала в широкополосных системах связи.

Проведены обзор литературных источников по широкополосным системам связи (ШПСС); проблема синхронизации в широкополосных системах; анализ поиска по временному положению широкополосных сигналов; анализ оценки точности слежения за временным положением; компьютерное моделирование алгоритмов поиска в среде *Matlab*.

ШПС получили применение в широкополосных системах связи (ШПСС) позволяют в полной мере реализовать преимущества оптимальных методов

обработки сигналов; обеспечивают высокую помехоустойчивость связи; допускают одновременную работу многих абонентов в общей полосе частот и так далее.

Методы поиска ШПС в пространстве параметров синхронизации во многом отличаются от методов радиолокационного поиска цели в зондируемом пространстве, хотя некоторые из них можно использовать и при реализации систем поиска ШПС. В главе 3 показаны преимущества и недостатки каждого метода временного поиска.

Оптимальная оценка параметров радиосигнала заключается в синтезе структуры, наилучшим образом выделяющей информационный параметр (или несколько параметров), и количественной характеристике качества работы синтезированной структуры. Синтезированные структуры и оценочная характеристика временной задержки составляют основу при проектировании синхронизирующих устройств в системах обработки информационных сигналов.

В исследование был смоделирован генератор ЧКП (четверично-кодированной последовательности), на основе генератора тактовых импульсов, JK-триггеров и логических элементов. Была сформирована последовательность ЧКП A_1^3 и A_0^3 , для этих импульсов была задана тактовая частота следования $f_t = 1$ кГц, были получены оценка временного положения, ее дисперсия и флюктуационная точность измерения временного задержки. Моделирование было сделано с помощью среды моделирования *Simulink*.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Тезисы конференций

1. Лэ Дык Бао Тоан, применение псевдослучайных сигналов в системе передачи цифровой информации / Карпушкин Э.М. – к.т.н., доцент // 55-я юбилейная конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Радиотехника и Электроника, 22-26 апреля 2019 г., БГУИР, Минск, Беларусь: тезисы докладов. – Мн. – 2019. – 99с.

2. Лэ Дык Бао Тоан, беспойсковый приемник псевдослучайных сигналов / Карпушкин Э.М. – к.т.н., доцент // 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов / Радиотехника и Электроника / апрель, май 2020 года / сборник тезисов докладов / Минск БГУИР 2020. – 184с.

3. Лэ Дык Бао Тоан, оценка временного положения радиосигнала, экспериментальные исследования на модели / Карпушкин Э.М. – к.т.н., доцент // 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов / Радиотехника и Электроника / апрель, май 2020 года / сборник тезисов докладов / Минск БГУИР 2020. – 186с.