

**Аннотация проекта (ПНИЭР), выполняемого в рамках ФЦП
«Исследования и разработки по приоритетным направлениям
развития научно-технологического комплекса России на 2014 -
2020 годы»**

**Номер Соглашения о предоставлении субсидии/государственного
контракта:** 14.574.21.0058

Название проекта: Повышение эффективности систем широкополосного доступа к мультимедийным услугам, работающих по технологии Radio-over-Fiber (RoF), на основе совершенствования элементов и устройств физического уровня

Основное приоритетное направление: Информационно-телекоммуникационные системы

Исполнитель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уфимский государственный авиационный технический университет"

Руководитель проекта: Виноградова Ирина Леонидовна

Должность: ведущий научный сотрудник

E-mail: tks@ugatu.ac.ru

Ключевые слова: *распределительные волоконно-эфирные системы связи, системы широкополосной передачи, пикосотовые структуры, удаленное гетеродинирование, фрактальная антенна, мультиплексирование с разделением по длине волны, хроматическая дисперсия, поляризационная модовая дисперсия, квазисолитоновый режим передачи, многолучевая интерференция*

Цель проекта

1. Повышение эффективности систем широкополосного доступа (ШПД) к мультимедийным услугам, относящихся к информационной технологии RoF, увеличение полосы пропускания беспроводного канала связи, повышение эффективности использования спектра отведенных частот, увеличение дальности безрегенерационной передачи по оптоволокну.

Реализуемый проект на 2 и 3 этапах направлен на решение вопросов, связанных с разработкой имитационных моделей на основе разработанных математических моделей, проверки их адекватности, точности и соответствия выбранных технических характеристик, разработкой алгоритма структурно-параметрического синтеза прямоугольных структур антенных решеток, проведением имитационного моделирования на основе разработанных имитационных моделей, разработкой фрактального миниатюрного антенного излучателя (ФМАИ) и схемы его подключения в составе фазированной антенной решетки (ФАР), разработкой метода компенсации искажений с точки зрения применения ФМАИ для создания сегментов сетей ШПД.

2. Разработка комплекса научных и научно-технических решений, направленных на повышение эффективности систем, относящихся к информационной технологии RoF, (в том числе частично к радиотехнологии и волоконно-оптической технологии), широкополосного доступа (ШПД) к мультимедийным услугам, на основе совершенствования элементов и устройств физического уровня (увеличение полосы пропускания беспроводного канала связи, повышение эффективности использования спектра отведенных частот, увеличение дальности безрегенерационной передачи по оптоволокну).

Предметом научного исследования являются элементы физического уровня

системы ШПД (технологии RoF). Разрабатываемые элементы физического уровня используются в составе экспериментального стенда (ЭС) «Радио по оптоволокну» в качестве экспериментального образца (ЭО) фрактальных антенных излучающих систем (ЭО-ФАИС) и макетов устройств (волоконно-оптического разветвителя/переключателя) с функциями чирпирования и усиления оптического излучения (М-УЧОИ), выполняющего чирпирование оптического сигнала, что позволяет одновременно с функциями сетевого управления (разветвления) усиливать сигнал и выполнять для него положительное чирпирование действием интерференции.

Основные планируемые результаты проекта

1. Краткое описание основных результатов:

1) По пункту 2.1 плана-графика исполнения обязательств для разработки ИМ1-СШП-ФИ были представлены технические характеристики, приведены проблемные вопросы в рамках разработки имитационной модели. Была разработана схема концептуальной модели, показывающая алгоритм работы имитационной модели, формализация разрабатываемой модели. Трансляция модели в пакете имитационного моделирования Matlab. Представлены верификация модели, т.е. соответствия технических характеристик модели представленным в ТЗ. Разработанная имитационная модель позволяет исследовать влияние формы импульса СШП на энергетическую эффективность беспроводного канала. Программная реализация представлена в приложении А.

2) По пункту 2.2 плана-графика исполнения обязательств для разработки ИМ2-ОФС-РИ были представлены технические характеристики, приведены проблемные вопросы в рамках разработки имитационной модели. Была разработана схема концептуальной модели, показывающая алгоритм работы имитационной модели, формализация разрабатываемой модели. Трансляция модели в пакете имитационного моделирования Matlab. Представлены верификация модели, т.е. соответствия технических характеристик модели представленным в ТЗ. Разработанная имитационная модель позволяет оптимизировать форму и спектр излучаемых радиоимпульсов по критерию повышения энергетической эффективности использования спектральной маски для СШП канала. Программная реализация представлена в приложении Б.

3) По пункту 2.3 плана-графика исполнения обязательств для разработки алгоритма структурно параметрического синтеза прямоугольных структур антенных решеток определены этапы разработки алгоритма, включающие в себя постановку задачи, математическую постановку задачи, выбор и обоснование метода решения задачи, разработку алгоритма и проверку его корректности. Представлен принцип круговой расстановки полимино, приведен алгоритм «снежный ком» для оптимизации структур, составленных из полимино, приведены целевые функции и методы декодирования.

4) По пункту 2.4 плана-графика исполнения обязательств для разработки ИМ3-СШП-КС были представлены технические характеристики, приведены проблемные вопросы в рамках разработки имитационной модели. Была разработана схема концептуальной модели, показывающая алгоритм работы имитационной модели, формализация разрабатываемой модели. Трансляция

модели в пакете имитационного моделирования Matlab. Представлены верификация модели, т.е. соответствия технических характеристик модели представленным в ТЗ. Разработанная имитационная модель позволяет исследовать спектральные свойства СШП канала учитывая многолучевое распространение сигнала. Программная реализация представлена в приложении А.

5) По пункту 2.5 плана-графика исполнения обязательств проведен проверочный цикл счета (первый прогон) для разработанных имитационных моделей. Для ИМ1-СШП-ФИ проведена проверка адекватности на соответствие ИМ2-СШП-РИ. В качестве критерия выбран коэффициент битовой ошибки. Приведен график зависимости теоретической и разработанной в рамках имитационной модели. Приведена точность соответствия разработанной имитационной модели математической. Проведена оценка выбора технических характеристик. Для ИМ2-ОФС-РИ проведена проверка адекватности на соответствие ИМ2-СШП-РИ. В качестве критерия выбран коэффициент заполнения маски и целевая функция. Приведен график зависимости спектральной плотности мощности от частоты и временная форма предложенных импульсов. Приведена точность соответствия разработанной имитационной модели математической. Проведена оценка выбора технических характеристик. Для ИМ3-СШП-КС проведена проверка адекватности на соответствие ИМ1-СШП-КС. В качестве критерия выбран коэффициент битовой ошибки и Q-фактор. Приведен график глазковой диаграммы в рамках имитационной модели. Приведена точность соответствия разработанной имитационной модели математической. Проведена оценка выбора технических характеристик.

6) Получена Информационная карта реферативно-библиографических сведений (ИКРБС) по 1 этапу за 2014 г.

7) По пункту 3.1 плана-графика исполнения обязательств проведено имитационное моделирование процесса влияния формы импульсов СШП (ИМ1-СШП-ФИ) на энергетическую эффективность беспроводного канала в классе линейных комбинаций функций Рэлея, Гаусса и функций Лагерра и их производных. Рассчитаны значения битовой вероятности ошибки в зависимости от типа используемого импульса, выбранного вида модуляции.

8) По пункту 3.2 плана-графика исполнения обязательств проведено имитационное моделирование оптимизации формы и спектра излучаемых радиоимпульсов (ИМ2-ОФС-РИ) по критерию повышения энергетической эффективности использования спектральной маски для СШП канала. Разработан ряд оптимальных импульсов в классе функций Рэлея, Гаусса, Лагерра. Рассчитаны значения коэффициентов использования масок FCC и ГКРЧ.

9) По пункту 3.3 плана-графика исполнения обязательств проведено имитационное моделирование исследования спектральных свойств СШП канала (ИМ3-СШП-КС) с учётом многолучевого распространения для предложенной системы радиоимпульсов и выработка практических рекомендаций по их использованию. На основе разработанных в пункте 3.2 импульсов были проанализированы каналы связи: Гаусса, Рэлея, Райса. Критерием качества принятого сигнала выступает глазковая диаграмма

импульса, прошедшего данный канал связи. Кроме того количественно оценено значение Q-фактора принятого сигнала и на его основе рассчитано значение коэффициента битовых ошибок.

10) По пункту 3.4 плана-графика исполнения обязательств разработан фрактальный миниатюрный антенный излучатель (ФМАИ). Установлена зависимость характеристик излучения от геометрических параметров ФМАИ. Рассчитаны и проанализированы характеристики ФМАИ. Оценены передаточная функция и фактор подобия на основе системы двух антенн. Проведена верификация результатов посредством проведения расчетов в другом ПО и натурных измерений. Изготовлено 20 образцов ФМАИ. Разработан комплект эскизно-конструкторской документации (ЭКД) на ФМАИ. Рассчитана эффективная маска ГКРЧ на основе проведенных измерений. Разработаны принципы подключения разработанных ФМАИ в составе ФАР. Разработан метод компенсации искажений с точки зрения применения ФМАИ для создания сегментов сетей ШПД, обеспечивающих удовлетворительную по QoS-показателям передачу асинхронного протокола.

2. Основные характеристики планируемых результатов:

- 1) По пункту 2.1 получена программная реализация имитационной модели ИМ1-СШП-ФИ, позволяющая исследовать влияние формы импульсов на энергетическую эффективность беспроводного канала связи.
- 2) По пункту 2.2 получена программная реализация имитационной модели ИМ2-СШП-ФИ, позволяющая оптимизировать форму радиоимпульсов и спектр радиоимпульсов по критерию повышения энергетической эффективности спектральной маски.
- 3) По пункту 2.3 получен корректно функционирующий алгоритм структурно параметрического синтеза прямоугольных структур антенных решеток, позволяющая составлять решетку из элементов в виде полимино соответствующий требованиям технического задания.
- 4) По пункту 2.4 получена программная реализация имитационной модели ИМ2-СШП-ФИ, позволяющая учитывать различные условия передачи разработанных радиоимпульсов.
- 5) По пункту 2.5 получены графические зависимости выбранных технических характеристик, позволяющие оценить показатели качества разработанных имитационных моделей.
- 6) По пункту 3.1 получены графические зависимости коэффициента битовых ошибок для различных типов импульсов и видов модуляции.
- 8) По пункту 3.2 получены графические зависимости спектральной плотности мощности от частоты и на их основе выбраны оптимальные импульсы для различных типов спектральных масок.
- 9) По пункту 3.3 получены глазковые диаграммы сигнала, прошедшего канал связи с передаточными характеристиками Гаусса, Рэлея, Райса.
- 10) По пункту 3.4 получены графические зависимости коэффициента отражения от геометрических параметров ФМАИ. Рассчитана конструкция ФМАИ, изготовлено 20 образцов ФМАИ, разработан комплект ЭКД на ФМАИ. Получен метод компенсации искажений с точки зрения применения ФМАИ для создания сегментов сетей ШПД, обеспечивающих удовлетворительную по

QoS-показателям передачу асинхронного протокола.

Краткая характеристика создаваемой/созданной научной (научно-технической, инновационной) продукции

1. Конечным продуктом являются два РИД – фрактальная антенная излучающая система (ФАИС) и волоконно-оптический разветвитель/переключатель с функциями чирпирования и усиления оптического излучения (УЧОИ).

ФАИС составлена из фрактальных миниатюрных антенных излучателей (ФМАИ), объединенных в полимино и максимально заполняющих структуру ФАР с целью управления диаграммой направленности. При этом также решаются задачи увеличения полосы пропускания беспроводного канала связи и повышения эффективности использования спектра отведенных частот. В процессе реализации проекта разрабатываются структура ФМАИ, способ упаковки ФМАИ в полимино разной формы, алгоритм заполнения решетки полимино разной формы, структура ФАИС, ЭКД на ФМАИ и ФАИС, изготавливаются опытные образцы ФМАИ и ФАИС.

УЧОИ выполнен в виде интерференционного коммутационного устройства и выполняет чирпирование оптического сигнала, что позволяет одновременно с функциями сетевого управления (разветвления) усиливать сигнал и выполнять для него положительное чирпирование действием интерференции, что в результате позволит увеличить дальность безрегенерационной передачи по оптоволокну. В процессе реализации проекта разрабатываются структура УЧОИ, метод включения системы RoF в состав мультисервисной сети, изготавливаются опытные образцы УЧОИ.

2. Оценка элементов новизны:

- 1) По пункту 2.4 научная новизна заключается в том, что оптимизации планарных структур, основанного на эволюционном принципе, заключается в том, что он отличается способом расстановки полимино в структуре и позволяет повысить степень заполненности структур. Оценка новизны решений, лежащих в основе разрабатываемых РИД была произведена в пункте А.2.1.2.1 Обоснование патентоспособности объектов разработки приложения А к отчету о ПНИ за 1 этап 2014 г. Данный алгоритм является новым способом упаковки элементов фрактальной структуры антенны.
- 2) По пункту 3.2 научная новизна заключается в том, что рассчитаны оптимальные с точки зрения энергетической эффективности формы излучаемых радиоимпульсов для спектральной маски СШП канала.
- 3) По пункту 3.4 научная новизна заключается в том, что предложен новый планарный СШП излучатель, отличающийся фрактальной геометрией излучающего элемента. Оценка новизны решений, лежащих в основе разрабатываемых РИД была произведена в пункте А.2.1.2.1 Обоснование патентоспособности объектов разработки приложения А к отчету о ПНИ за 1 этап 2014 г.

3. В настоящее время существуют образцы систем категории Radio-over-fiber,

выпускаемые за рубежом. Существующее оборудование базовых станций достаточно миниатюрное, но, согласно техническим характеристикам производителя, оно обладает весьма ограниченной полосой пропускания, малой длиной радиотракта и малой дальностью оптоволоконных соединений. Кроме того, спектр радиоизлучения ориентирован на зарубежный стандарт (т.е. маску FCC), что вообще не позволяет его применять в России – т.к. разрешённая спектральная маска ГКРЧ на территории РФ существенно расходится с маской FCC. В России указанное оборудование не выпускается.

Заявленные исследования направлены на совершенствование физического уровня систем связи данной категории. А именно – применение оптимальных по форме импульсов позволит в большей степени использовать «площадь» спектра, разрешённого установленной маской, а значит – увеличить длину радиолинии. Кроме того, при проведении моделирования принимается в расчёт не маска FCC, а ГКРЧ, что позволит ориентировать оборудование на использование в России. Совершенствование оптоволоконных соединений RoF позволит увеличить их дальность с сохранением качества передачи (что весьма актуально для России при обслуживании загородных районов, в том числе удалённых корпоративных абонентов). А если учесть, что оптоволоконная линия RoF предназначена не только для передачи (трансляции) сигналов, но и для их преобразования – как под спектральную маску (в данном случае ГКРЧ), так и для решения задач уровня канала/сети (т.е. уровней выше физического по модели ВОС) с целью переноса указанных функций из электронной части в оптическую, то разрабатываемое оборудование ожидается также весьма компактным, и что не менее важно – более функциональным, что в конечном итоге позволит расширить количество предоставляемых абоненту сервисов и сделает его более привлекательным на телекоммуникационном рынке.

По базам данных центра информационных технологий и систем органов исполнительной власти (ЦИТиС) был проведен поиск аналогичных научно – исследовательских работ по теме проводимого ПНИ. Большинство работ по сверхширокополосной связи посвящены радиолокации и радионавигации (номера регистрационных карт ПНИ – 01201461644, 01200304670, 01960009741, 012008069340, 01201059973). Системы СШП RoF в изученных базах данных ЦИТиС не рассматриваются. В области технологии RoF представлены работы по организации широкополосной сети доступа к мультимедийным услугам для удаленных и сельских районов (номер регистрационной карты ПНИ - 01201352250). Задачей вышеприведенного исследования являются увеличение дальности и полосы пропускания каналов связи за счет использования квазисолитонного режима передачи. В отчете о ПНИ за первый этап говорилось о задачи увеличении дальности передачи за счет использования квазисолитонного режима передачи (глава 1.2 отчета о ПНИ за первый этап).

4. Пути и способы достижения заявленных результатов:

- математическое и имитационное моделирование;
- изготовление ФАИС и УЧОИ;

- проведение экспериментальных исследований;
- проведение натурных измерений;
- разработка комплекта эскизно-конструкторской документации (ЭКД).

Ограничения и риски:

- проблема согласования отчетной документации с Организацией-монитором;
- закупаемое оборудование для Стенда, Экспериментальных образцов и Макетов разрабатываемых устройств – зарубежного производства (Германия, США) и не имеет аналогов отечественного производства. С повышением курса доллара рублевая стоимость оборудования возросла более, чем в 2,5 раза;
- неизбежное снижение финансирования (более, чем на 10% от изначально намеченной суммы).

Назначение и область применения, эффекты от внедрения результатов проекта

1. Промышленность и социальная сфера: производство средств связи, систем мониторинга; новая услуга беспроводного доступа к мультимедийным услугам; системы телерадиоуправления технологическими процессами; атомная, нефтехимическая и тяжелая промышленность. В научной области – интеграция радио и оптических систем связи, изучение и разработка новых материалов для СВЧ диапазона, разработка новых способов генерации и преобразования СШП сигналов.

2. Практическое внедрение:

- малогабаритные переносные СШП приемо-передатчики для передачи больших объемов информации с высокой скоростью, защищенностью, скрытностью;
- промышленность: замена существующих технологий малой дальности (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth), кабельных соединений в рамках проектов «офис без проводов», «умный дом» и объединении всех электронных домашних устройств в единую сеть;
- обеспечение связи ПК со всеми периферийными устройствами по радиоканалу или применение одной антенны для передачи сигналов различных стандартов;
- создание сетей передачи данных в пределах подвижных транспортных средств (летательные аппараты, корабли, транспорт);
- системы телерадиоуправления технологическими процессами на предприятиях атомной и тяжелой промышленности, нефтехимических комплексах и при управлении роботами во время ЧС.
- медицина – датчики, расположенные на теле человека для контроля его состояния здоровья посредством передачи информации на его персональное мобильное устройство - «Body air network»;
- наука – лабораторный стенд по исследованию процессов генерации, преобразования, передачи и приема электромагнитной энергии в СШП диапазоне частот.

3. Полученные результаты будут способствовать активному развитию СШП технологии и ее интеграции с волоконной оптикой, обеспечивая конечного потребителя качественными услугами передачи данных. Поскольку основная часть дорогостоящего оборудования будет располагаться на центральной базовой станции, то это позволит существенно снизить стоимость затрат на реализацию за счет минимизации числа промежуточных узлов. Снижение стоимости услуг связи и оборудования, снижение энергопотребления и производственных затрат. Уменьшение отрицательного воздействия на окружающую среду и живых существ ввиду низкого уровня радиоизлучения.

4. Ускорение интеграции мировых исследований в области проектирования компонентов СШП систем. Развитие материально-технической и информационной инфраструктур. Повышение конкурентоспособности отечественных производителей. Укрепление обороноспособности страны ввиду того, что данные системы связи разрабатываются в России и для отечественных стандартов с высокой защитой связи от перехвата и высокой скрытностью, что актуально для военных и ведомственных подразделений. Защита персональных данных при проведении финансовых операций он-лайн. Обеспечение доступа к качественным услугам связи все большей массе населения, повышение качества жизни.

Текущие результаты проекта

1. Разработана имитационная модель для исследования влияния формы импульсов СШП (ИМ1-СШП-ФИ) на энергетическую эффективность беспроводного канала.
2. Разработана имитационная модель для оптимизации формы и спектра излучаемых радиоимпульсов (ИМ2-ОФС-РИ) по критерию повышения энергетической эффективности использования спектральной маски для СШП канала.
3. Разработан алгоритм структурно-параметрического синтеза прямоугольных структур антенных решёток, составленных из подрешёток в виде полимино.
4. Разработана имитационная модель для исследования спектральных свойств СШП канала (ИМ3-СШП-КС) с учётом многолучевого распространения для предложенной системы радиоимпульсов.
5. Выполнен проверочный цикл счёта (первый прогон) для имитационных моделей ИМ1-СШП-ФИ, ИМ2-ОФС-РИ и ИМ3-СШП-КС с целью подтверждения адекватности математических моделей ММ1-СШП-КС, ММ2-СШП-РИ и ММ3-САР, точности имитационных моделей и правильности выбора технических характеристик системы.
6. Проведено имитационное моделирование процесса влияния формы импульсов СШП (ИМ1-СШП-ФИ) на энергетическую эффективность беспроводного канала в классе линейных комбинаций функций Рэля, Гаусса и функций Лаггера и их производных.
7. Проведено имитационное моделирование оптимизации формы и спектра излучаемых радиоимпульсов (ИМ2-ОФС-РИ) по критерию повышения энергетической эффективности использования спектральной маски для СШП канала.

8. Проведено имитационное моделирование исследования спектральных свойств СШП канала (ИМЗ-СШП-КС) с учётом многолучевого распространения для предложенной системы радиоимпульсов и выработка практических рекомендаций по их использованию.
9. Разработан фрактальный миниатюрный антенный (ФМАИ) излучатель и схема его подключения в составе фазированной антенной решетки.
10. Разработан метод компенсации искажений с точки зрения применения ФМАИ для создания сегментов сетей ШПД, обеспечивающих удовлетворительную по QoS-показателям передачу асинхронного протокола.
11. Проведены маркетинговые исследования в области разрабатываемой продукции.
12. Подана заявка на получение патентов и свидетельств на разрабатываемые ФАИС.
13. Выполнены работы по подготовке и проведению конференции «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций» XVI.
14. Выполнены работы по организации и проведению семинара по теме ПНИ.
15. Выполнены работы по арендованию технологического и контрольно-измерительного оборудования.
16. Разработан отчет о дополнительных патентных исследованиях.