

УДК: 621.396

DOI: 10.26907/rwp29.2025.92-95

ИССЛЕДОВАНИЕ КВАЗИВЕРТИКАЛЬНОГО ИОНОСФЕРНОГО РАДИОКАНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНО ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ПРИЕМО-ПЕРЕДАТЧИКОВ

Ю.В. Давыдов, Р.Р. Латыпов

Казанский Федеральный Университет, 420008, г. Казань, ул. Кремлёвская, 18
E-mail: davydovkfu@mail.ru

Аннотация. В работе представлен разработанный стенд для исследования квазивертикального ионосферного коротковолнового канала для исследования особенностей ближнего распространения радиоволн с вертикальным отражением от ионосферы, проведен первичный эксперимент по оценке наличия сигнала в исследуемом радиоканале, представлены его результаты, которые в дальнейшем позволят модернизировать стенд.

Ключевые слова: ионосферный коротковолновой канал, исследовательский полигон, программно определяемое радио, вертикальное падение ионосферной волны.

RESEARCH OF QUASI-VERTICAL IONOSPHERIC RADDIO CHANNEL USING SOFTWARE-DEFINED TRANSMITTERS

Y. V. Davydov, R. R. Latypov

Abstract. The paper presents a developed stand for studying a quasi-vertical ionospheric shortwave channel for researching the features of propagation of radiowaves in near vertical incidence skywave, a primary experiment was conducted to assess the presence of a signal in the radio channel under study, and the results are presented, which will further allow upgrading the stand.

Keywords: ionospheric SW channel, research ground, software defined radio, near vertical incidence skywave.

Введение

Квазивертикальный ионосферный канал является основой для исследований NVIS (near vertical incidence skywave). Явление ближнего распространения радиоволн с вертикальным отражением от ионосферы обладает рядом особенностей применимости для радиосвязи по сравнению с УКВ радиосвязью. Радиосвязь, основанная на этом явлении, работает на дальностях до пары сотен километров, в диапазоне частот от 2 до 4 МГц ночью, и от 4 до 8 МГц днем. Подобная радиосвязь наиболее эффективна в горной местности, в лесопосадках, где отсутствует прямая видимость [1]. Из преимуществ стоит отметить:

- Возможность работать с небольшой мощностью передатчика,
- Сложность пеленгации источника радиосигнала ввиду отсутствия направления на источник,
- Низкая вероятность перехвата ввиду ограниченного радиуса действия.
- Отсутствие «мертвой зоны»

Однако также стоит отметить и ряд недостатков:

- Подверженность системы атмосферным помехам,
- Невысокая скорость передачи ввиду применения низких частот,
- Большие габариты антенн.

Стенд для исследования квазивертикального ионосферного радиоканала

Для исследования квазивертикального ионосферного КВ радиоканала был разработан и реализован стенд. Работа стенда базируется на нескольких основных принципах:

- Возможность удаленного управления работой стенда,
- Использование программно определяемых радиоустройств – SDR (Software-defined radio).

Первый принцип подробно описан в работе [2]. Поскольку стенд не предназначен для вертикальных работ, требуется настроить удаленный доступ к блокам передатчика и

приемника. Для чего оба блока, в дополнение к локальному серверу подключены к VPN сети. Это позволяет формировать на локальном сервере тип радиоимпульсов для исследования канала, осуществлять дистанционный контроль работы передатчика и приемника, а также осуществлять сбор данных и обработку результатов. Также наличие локального сервера позволяет организовать синхронизацию приемника и передатчика.

Второй принцип основан на использовании SDR устройств. Это небольшие цифровые программируемые радиоустройства. Они характеризуются малыми размерами, достаточной дешевизной, а также простотой перестройки радиопараметров.

На рисунке 1 представлена блок-схема работы стенда для исследования радиоканала:

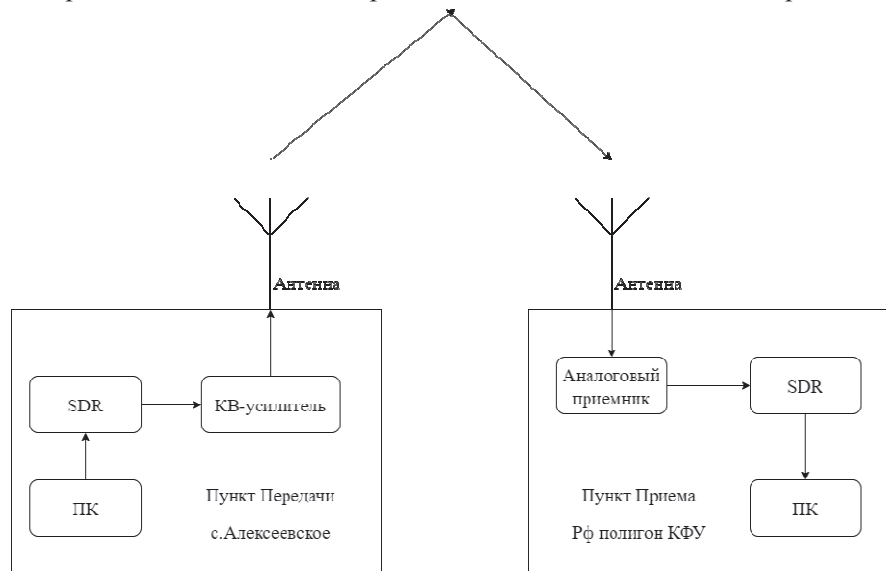


Рис. 1. Блок-схема стенда для исследования ионосферного радиоканала

Стенд для исследования радиоканала состоит из двух основных блоков: блок передачи и блок приема.

Блок передачи расположен неподалеку от поселения Алексеевское в Республике Татарстан. Его устройство таково: управляющий компьютер передает на SDR-передатчик, заготовленные оцифровки необходимого радиоимпульса. В качестве SDR-передатчика используется платформа HackRF One [3]. Затем сигнал попадает на самодельный KB-усилитель, и выходная мощность сигнала, отправляемая на передающую антенну, составляет порядка 10Вт.

Блок приема расположен на радиофизическом полигоне Казанского Федерального Университета. На нем сигнал с приемной антенны попадает на аналоговый приемник, с выхода промежуточной частоты которого переходит на SDR-приемник. В качестве SDR-приемника используется модель на микросхеме MSI2500.

Расстояние между передатчиком и приемником составляет порядка 115 километров. Географическое расположение блоков представлено на рисунке 2. В качестве антенн использованы антенны типа «Inverted V», размещенные на мачтах высотой 15 м. Расстояние между антеннами и высота подвеса исключают существования поверхностной волны, т.к. дальность прямой видимости составляет около 20 км.

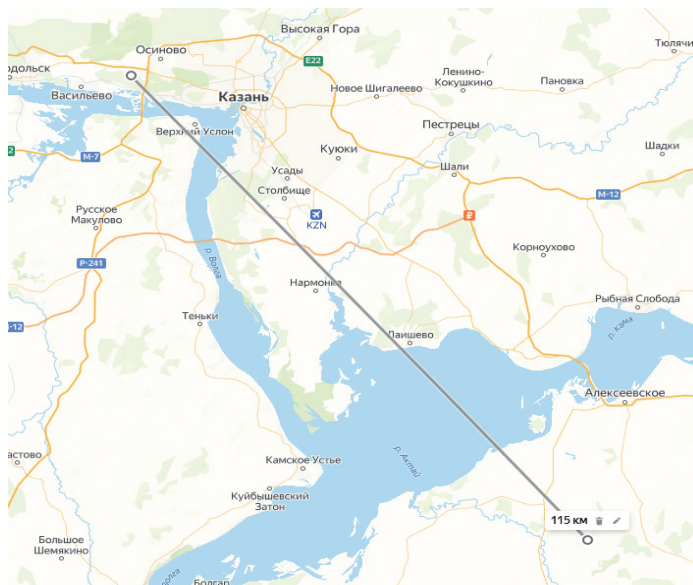


Рис. 2. Местоположение и расстояние между блоками стенда

Эксперимент по определению наличия сигнала в узкополосном ионосферном КВ радиоканале

Для оценки работоспособности стенда был реализован эксперимент по определению наличия сигнала в узкополосном ионосферном коротковолновом канале. Параметры эксперимента:

- Частота радиоимпульсов: 3.555 МГц,
- Полоса пропускания: 3 кГц,
- Мощность излучения: около 10 Вт,
- Длительность эксперимента: 30 часов,

Вид излучаемого радиоимпульса представлен на рисунке 3.

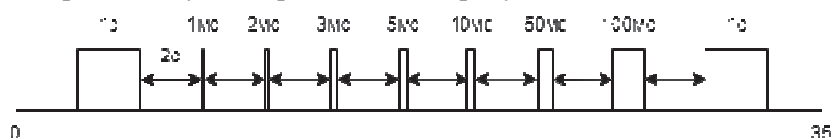


Рис. 3. Временная диаграмма излучаемого радиосигнала

Данный радиоимпульс вещался по каналу ежеминутно на протяжении около 30 часов, что позволило набрать статистическую базу и проводить анализы и обработку результатов. На данном этапе синхронизация передатчика и приемника производилась по реальному времени UTC, взятому с единого локального сервера.

Механизм обработки заключался в переводе принятого сигнала в логическое распределение, для которого рассчитывалось взаимная корреляция с известными длительностями импульсов, и получение вероятностей наличия в принятом сигнале радиоимпульсов указанной длительности.

Для этого для принятых файлов были вырезаны полосы 400 Гц, т.к. 3.555 – открытый КВ диапазон для телеграфного вещания, и нужно было исключить радиолюбительские помехи. Затем для файла проводилась математическая обработка:

- проводился расчет квантиля порога методом скользящего окна (был взят квантиль 0.9),
- сглаживание и инверсия распределения квантиля, для исключения разовых выбросов в сигналах,

На основе этого сигнал переводился в логическое распределение (выше порога/ ниже порога), после чего для него снова проводилось сглаживание для исключения единичных выбросов. И затем проводилась оценка корреляции с известными длительностями импульсов. Результаты представлены на рисунке 4. Слева представлен один из принятых сигналов (синий)

и рассчитанный для него квантиль порога (оранжевый). Справа представлена взаимная корреляция для всех файлов с 100 мс импульсом. С вероятностью близкой к 1 подсвечены полученные 100 мс импульсы, а также импульсы с длительностью 1 с.

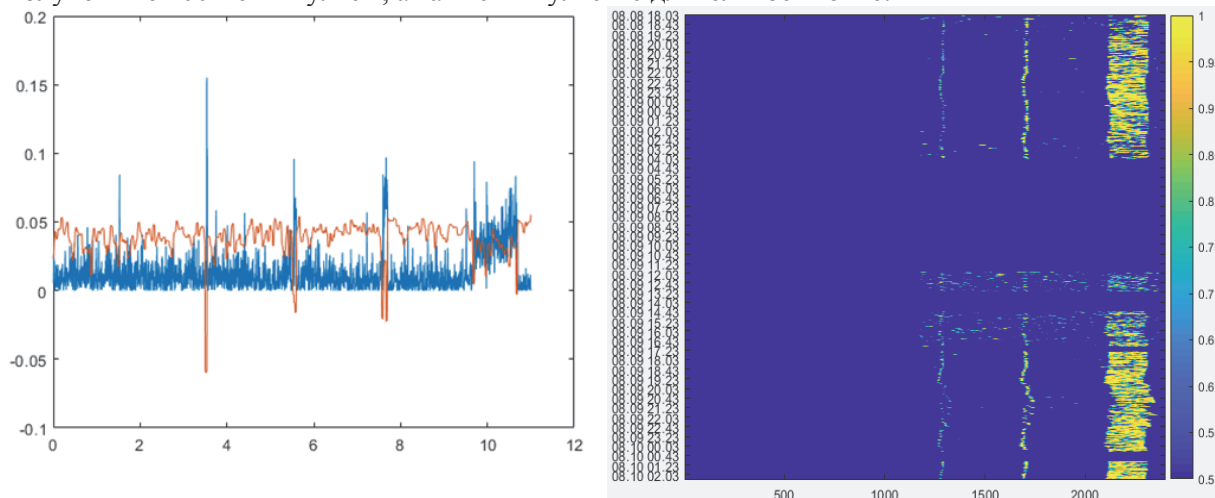


Рис. 4. Слева: Один из принятых сигналов, справа: взаимная корреляция с импульсом 100мс

Эксперимент позволил оценить вероятности наличия сигнала в радиоканале, но также выявляет некоторые недостатки стенда. Для стабильности временных измерений необходима точная синхронизация передатчика и приемника посредством ГНСС устройств. Также необходимо улучшить программную часть стенда, чтобы исключить потери данных, которые произошли в ходе эксперимента и видны на рисунке 4.

Заключение

В статье представлен стенд для исследования квазивертикального ионосферного коротковолнового радиоканала. Такой стенд используется для изучения ближнего распространения радиоволн с вертикальным отражением (NVIS), что применяется в КВ-связи ближнего действия. С использованием стенда был проведен эксперимент по оценке наличия прохождения радиосигнала через канал. Предполагается дальнейшая модернизация стенда с учетом полученных результатов

Благодарности

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

Список литературы

1. Witvliet, B.A., Alsina-Pagès, R.M. Radio communication via Near Vertical Incidence Skywave propagation: an overview. – Telecommun Syst 66. – 2017. – P. 295–309.
2. Давыдов Ю.В., Латыпов Р.Р., Баранов А.Д. Системы квазивертикального зондирования с использованием программно определяемых приемопередатчиков // Распространение радиоволн. Сборник докладов XXVIII Всероссийской открытой научной конференции. – Йошкар-Ола. – 2023. – С. 100–103.
3. HackRF One. URL: <https://greatscottgadgets.com/hackrf/one/> (дата обращения: 22.02.2023).