УДК: 087.2 + 537.87 DOI: 10.26907/rwp29.2025.282-285

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРУГЛОСУТОЧНОГО ПРИЕМА ИНФОРМАЦИИ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КВ СВЯЗИ

В.А. Иванов, М.И. Рябова, М.В. Вершинин

Поволжский государственный технологический университет, 420000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: vl_a_ivanov@mail.ru

Аннотация. Разработан макет экспериментальной установки сенсора доступности КВ радиоканалов на основе технологии программно-конфигурируемых радиосистем с использованием универсальной аппаратной платформы типа USRP. На его основе исследованы методики и алгоритмы определения доступности КВ радиоканалов с широкой полосой частот при различной мощности передатчика, позволяющие обеспечивать эффективный круглосуточный прием информации на ионосферных линиях связи, протяженностью до 3000 км. Получены данные проведенных круглосуточных экспериментальных исследований при приеме сигнала в условиях сложной помеховой обстановки, характерной для городской местности. Установлены суточные ходы повышения доступности каналов КВ связи при работе в условиях города с повышением мощности связного сигнала на 5 дБ и 10 дБ.

Ключевые слова: мощность передатчика; уровень антропогенных помех; отношение сигнал/шум; адаптивный порог

IMPROVING THE EFFICIENCY OF ROUND-THE-CLOCK RECEPTION OF INFORMATION IN URBAN ENVIRONMENTS WHEN USING HF COMMUNICATIONS

V.A. Ivanov, M.I. Ryabova, M.V. Vershinin

Abstract. A mock-up of an experimental installation of a HF radio channel availability sensor based on the technology of software-configurable radio systems using a universal hardware platform of the USRP type has been developed. Based on it, methods and algorithms for determining the availability of HF radio channels with a wide frequency band at different transmitter power have been studied, allowing for efficient round-the-clock reception of information on ionospheric communication lines up to 3,000 km long. Data from round-the-clock experimental studies conducted when receiving a signal in a complex interference environment typical of urban areas have been obtained. Daily movements have been established to increase the availability of HF communication channels when operating in urban conditions with an increase in the power of the connected signal by 5 dB and 10 dB.

Keywords: transmitter power; level of anthropogenic interference; signal-to-noise ratio; adaptive threshold

Введение

КВ радиосвязь используется гражданскими, промышленными, военными службами и организациями в качестве резервного вида. Условно считается, что в режиме тактической связи (дальность до 500 км) используют частоты 3–8 МГц, в режиме стратегической связи (до 3000 км) используют частоты 9–30 МГц. Однако КВ связи присущи недостатки, ограничивающие ее возможности. В первую очередь это ограниченная межмодовой дисперсией пропускная способность и существенная загруженность каналов сигналами различных пользователей (антропогенные помехи), особенно значимая для городских условий.

Для оценки качества природного канала связи вводится понятие доступности. Канал считается доступным, если параметры рассеяния по задержке, по доплеровской частоте и отношение сигнал/шум удовлетворяют заданным для используемого модема условиям. Быстрее всего из параметров изменяется уровень шума. Поэтому качество КВ радиосвязи в значительной степени определяется величиной отношения сигнал/шум. Повысить данную величину можно двумя способами: увеличением мощности передатчика и поиском канала с наименьшим уровнем антропогенных помех. Для оценки доступности изменчивых каналов систему когнитивной связи дополняют режимом мониторинга спектральной плотности помех с разрешением, равным полосе частот этих каналов. В результате мониторинга находятся

доступные по уровню помех каналы. Пропускную способность увеличивают путем одновременного использования до 8–16 доступных каналов с полосой по 3 кГц.

В городских условиях уровень антропогенных помех увеличивается за счет индустриальных шумов, помех от электрического транспорта, помех от импульсных блоков питания и т.д. Поэтому в данном случае необходимо исследовать зависимость доступности широкополосных радиоканалов с полосой до 24 кГц при различных значениях порога при оценке уровня антропогенных помех.

Цель работы: применение SDR сенсора загруженности каналов КВ связи для повышения эффективности круглосуточного приема информации в условиях города.

Алгоритм сенсорной диагностики спектральной плотности мощности (СПМ) помех в КВ диапазоне

Лабораторный образец сенсора реализована на базе универсального SDR устройства типа USRP N210. Платформа с помощью 14 битного АЦП осуществляет преобразование сигнала в цифровую форму прямо с выхода антенны. В ПЛИС USRP сигнал смешивается с цифровым синтезированным сигналом опорного генератора. Получившиеся синфазная (I) и квадратурная (Q) компоненты передаются по интерфейсу Gigabit LAN в персональный компьютер для дальнейшей спектральной обработки (см. рисунок 1) и отображения полученной информации. Программная часть реализована с использованием пакетов прикладных программ GNU Radio и PTC Mathcad15. Исследованиям подвергаются спектры сигналов помех во всем КВ диапазоне, полученные с разрешением 24 кГц, равным расширенной полосе канала. Такая полоса позволяла для системы связи достигать максимальной скорости передачи символов через 8 примыкающих подканалов.

Рис. 1. Методика получения спектра помех с разрешением 3 кГц

Быстрое преобразование Фурье с числом точек 65536, позволяло получать СПМ с разрешением по частоте 381 Гц [1]. Для получения СПМ в канале с полосой 3,051 кГц проводилось усреднение по 8 соседним отсчетам. Затем эти данные пересчитывались на СПМ каналов с полосой 24 кГц. Учитывалось, что СПМ носит случайный во времени характер. Для получения статистически устойчивой оценки использовалась операция усреднения спектров, полученных последовательно за 1 с [1].

Для анализа доступности радиоканала по уровню помех усредненный спектр помех в диапазоне 3–28 МГц делился на примыкающие отрезки по 1 МГц. Для каждого бралось 3% отсчетов с наименьшим СПМ и вычислялось их среднее. Такое преобразование было необходимо для определения минимального уровня шума в каждом поддиапазоне, который принимался за нулевой уровень отсчета порога. Доступность канала определялась оценкой превышения его в анализируемом канале. На каждом отрезке в 1 МГц порог задавался тремя значениями: 10 дБ, 15 дБ, 20 дБ. Для временной оценки доступности радиоканалов использовалась метрика, называемая минутной доступностью радиоканалов, обозначенная нами – СМА [1]. Она подразумевает, что радиоканал доступный в течение 2-х минут, является также доступным в течение 3-й минуты.

Эксперименты проводились круглосуточно в течении нескольких дней в г. Йошкар-Оле летом (в июне). Условно считалось, что диапазон частот 3–8 МГц используется системами тактической, а 9–27 МГц – стратегической связи КВ связи.

Анализ экспериментальных результатов

При пороге 10 дБ для оценки доступности наблюдалась высокая занятость радиоканалов в диапазоне тактической радиосвязи (3-8 МГц) в течении всего суточного хода. Показатель доступности 7–10 % днем и 4–5% ночью. В ночное время все радиоканалы данного диапазона были полностью загружены. При этом на частотах стратегической связи наблюдалась повышенная по отношению к тактической связи доступность каналов. Кроме того, доступность на частотах 16 и 17 МГц составляла 31% ночью и 44% днем и была выше, чем на соседних с ними частотах 15 и 18 МГц (19% ночью и 35% днем). Это явление связано с особенностями приема в городских условиях, что наглядно иллюстрирует рисунок 2.

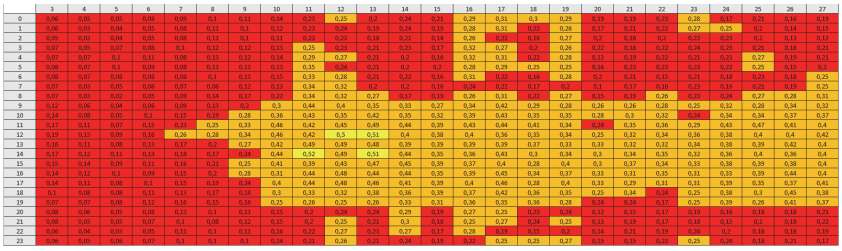

Рис. 2. Суточный ход доступности радиоканалов КВ диапазона при использовании критериального порога в 10 дБ

Из рис. 2 видно, что в городских условиях из-за особенностей антропогенных помех каналы на частотах 15, 18 и 19 МГц обладают большей доступностью в ночное время по сравнению с соседними диапазонами частот. Диапазон стратегической радиосвязи (9–27 МГц) при пороге 10 дБ обладает низкой доступностью в ночные часы (примерно, 15–20%), за исключением частот 16-18 МГц, а в дневные часы доступность в диапазоне достигает 35–45%.

При критерии 15 дБ доступность увеличивается. Так в дневное время свободным от существенных помех является диапазон 3 МГц (см. рис. 3) и диапазон 8–14 МГц. При данном пороге на этих частотах имеет место доступность 96–100%. Отметим, что в предыдущем случае диапазон тактической радиосвязи 3–8 МГц был практически недоступным (доступность составляла 3–15%).

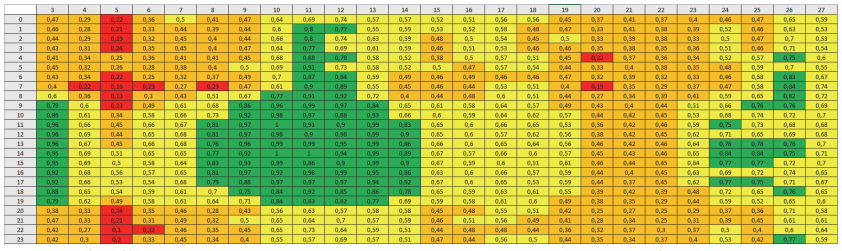

Рис. 3. Суточный ход доступности радиоканалов КВ диапазона при использовании критериального порога 15 дБ

Из рис. 3 видно, что на частоте 3 МГц в дневное время имеют место незанятые каналы в отличии от ситуации, когда использовался порог 10 дБ. При аналогичном сравнении отметим, что свободные радиоканалы (с 75–84% доступность) присутствуют также на частотах стратегической связи 24–26 МГц в ночное и дневное время.

Таким образом, при увеличении порога с 10 дБ до 15 дБ происходит увеличение доступности широкополосных каналов КВ связи по уровню шума в дневное время и ночное время, в то время как при пороге 10 дБ все радиоканалы с этой полосами были полностью недоступны как днем, так и ночью. Выигрыш в доступности радиоканалов составляет примерно 30–40%. Итак, увеличение порога на 5 дБ выигрыш в доступности радиоканалов составляет 1,5 раза как в дневное, так и ночное время.

При критерии 20 дБ в дневное время доступные радиоканалы имели место в диапазонах как тактической связи (3 МГц, 8–14 МГц), так и стратегической связи (23–27 МГц). В ночное время доступными были радиоканалы в диапазонах 10–12 МГц и 26–27 МГц (см. рис. 4).

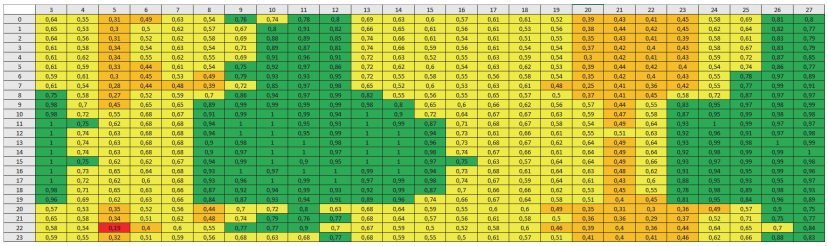

Рис. 4. Суточный ход доступности радиоканалов КВ диапазона при использовании порога 20 дБ

Отметим, что увеличение порога на 10 дБ дает выигрыш в доступности радиоканалов в ~ 2,5 раза как в дневное, так и ночное время. По сравнению с порогом 15 дБ выигрыш составляет примерно 1,7 раза.

Интерпретация результатов

Эффективность модема КВ связи определяется тремя параметрами канала распространения сигнала: частотно-временной дисперсии (рассеяние по групповой задержке и рассеяние по доплеровской частоте) и отношение сигнал/шум. Величине 10 дБ соответствует уровень фонового шума. При увеличении от 10 дБ порога при оценке доступности несколько повышается уровень воздействующего на систему связи фонового шума N, в том числе за счет присутствующих сосредоточенных помех. Это можно расценивать как увеличение мощности шума. Поэтому для сохранения при этом отношения S/N необходимо увеличить мощность S сигнала на величину изменения порога. Данный эффект можно использовать при создании методики адаптивного изменения мощности связного сигнала при значительном числе сосредоточенных помех и их значительной изменчивости в геофизическом времени характерном для городских условий приема.

Заключение

В городских условиях системы широкополосной ионосферной тактической и стратегической КВ связи испытывают существенные негативные ограничения в числе доступных каналов. В работе обоснована методика оценки влияния критериального порога доступности на эффективность круглосуточного приема информации. В основу положен метод мониторинга спектра принимаемых антропогенных и естественных канальных шумов с использованием соответствующего сенсора. Проведено экспериментальное исследование влияния уровня порога на доступность широкополосных радиоканалов. Установлено, что увеличение порога на 10 дБ (с10 до 20 дБ) дает выигрыш в доступности радиоканалов в 1.5–2.5 раза как в дневное, так и ночное время, а данные для порога 10 дБ соответствуют условиям приема сигналов с минимальной мощностью. Вариацию порога можно использовать в методике адаптации системы КВ связи по излучаемой мощности связного сигнала. Итак, нами показано, что при увеличении мощности связного сигнала увеличивается количество доступных радиоканалов как в дневное, так и ночное время. Преимущественно это имеет место в диапазонах 3–9 МГц и 25–27 МГц в дневное время, а также в диапазоне 10–12 МГц круглосуточно.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 24-29-00442).

Список литературы

1. William N. Furman, John W. Nieto, Erik N. Koski.”Initial Wideband HF ALE: Approach and On-Air Test Results // The Nordic Shortwave Conference HF13, Faro, Sweden, 2013. www.nordichf.org.