

## Пространственное разделение частотных каналов в зоне узла радиодоступа ДКМВ

### Spatial Separation of Frequency Channels in the Decameter Wavelength Radio Access Node Zone

**Зайцев / Zaytsev V.**

Владимир Васильевич  
(tixon1949@bk.ru)

кандидат технических наук,  
почётный радист РФ,  
ФГБОУ ВО «Омский государственный  
университет путей сообщения»,  
доцент кафедры «Инфокоммуникационные системы  
и информационная безопасность».  
г. Омск

**Присяжнюк / Prisyazhnuik S.**

Сергей Прокофьевич  
(office@itain.spb.ru)  
доктор технических наук, профессор,  
заслуженный деятель науки РФ,  
действительный член Академии инженерных наук  
им. А. М. Прохорова.  
ЗАО «Институт телекоммуникаций»,  
генеральный директор.  
г. Санкт-Петербург

**Ключевые слова:** пространственное разделение частот – spatial frequency separation; зона молчания – radio silence zone; каналы радиодоступа – radio access channels; каналы прямой связи – direct communication channels.

В работе выполнена оценка размеров зоны молчания для радиолиний средней и большой протяженности. Рассмотрена возможность одновременной работы различных радиоканалов на одинаковых частотах в зоне обслуживания узла радиодоступа ДКМВ.

The study assesses the size of radio silence zone for radio lines of average and high extension. Possibility is considered of simultaneous operation of different radio channels operating on one and the same frequency within the service zone of a decameter wavelength radio access node.

Каналы радиосвязи, использующие ионосферное отражение радиоволн, сосредоточены в относительно малом диапазоне частот 2–30 МГц. Такие каналы обеспечивают связь на дальностях до нескольких тысяч километров без промежуточной ретрансляции и представляют интерес для многих групп пользователей. Но общее количество таких каналов принципиально ограничено рамками диапазона ионосферного распространения [1]. Совершенствование методов контроля среды распространения и способов увеличения пропускной способности [2, 3] делают каналы ДКМВ всё более востребованными. Разработка архитектур и технологий работы систем радиосвязи ДКМВ, допускающих возможность одновременного использования одинаковых частот для

организации различных каналов в некоторой общей зоне, представляется актуальной.

Известные подходы [4] для систем третьего поколения предполагают распределение групп частот по функциональному признаку и не содержат ограничений и процедур, допускающих пространственное разделение одинаковых частотных ресурсов разными пользователями.

Электромагнитная энергия диапазона ДКМВ, излучаемая антенной, расположенной вблизи земной поверхности, распространяется двумя путями. Дальность распространения поверхностной  $X_{\Pi}$  волны существенно зависит от электрических параметров поверхности и рабочей частоты излучения [5]. При мощности излучения 1 кВт напряжённость поля поверхностной волны над сушей уменьшается до уровня 1 мкВ/м на расстояниях от 50 км до 250 км.

При распространении волны с отражением от ионосферы протяжённость радиолинии по дуге большого круга зависит от угла  $\theta_0$  взаимодействия с ионосферой и соотношения между рабочей и критической частотами [6]. Некоторому углу  $\theta_m$  соответствует максимально применимая частота (МПЧ) радиолинии и минимальное расстояние  $X_m$  от передатчика, где может быть зарегистрировано поле ионосферной волны. МПЧ угла  $\theta_m$  при меньших углах от ионосферы не отражается. Эти особенности распространения ДКМВ создают известный специалистам эффект зоны молчания («мёртвой зоны»), когда третий корреспондент, находящийся на расстоянии  $X_{\Pi} < X_3 < X_m$  не взаимодействует по полю с конечными точками радиолинии.

Расстояние между границами зоны молчания  $D_M = X_m - X_{\Pi}$  может составлять от нескольких сотен километров для средних радиолиний до 2500 километров для

длинных радиолиний. Любой абонент в зоне молчания может использовать частоту проходящей над ним радиолинии для своих нужд без нарушения электромагнитной совместимости с абонентами первичной линии.

Если в зоне молчания первичной линии находится вторая пара корреспондентов и между ними возможно создание ионосферного канала на рабочей частоте первичной линии, то эти два канала будут пространственно разделены. Такая ситуация может быть использована в зоне обслуживания узла радиодоступа диапазона ДКМВ для организации подсистемы прямой связи между абонентами с эффективным повторным использованием выделенного зонам частотного ресурса.

При организации наклонных линий радиодоступа длиной  $L$  с модой 1F2 между узлом и удалёнными абонентами на частотах  $f_p$  вблизи МПЧ<sub>L</sub> между передатчиками и приёмниками этой линии могут работать абоненты радиолиний прямой связи на тех же рабочих частотах.

Обязательными условиями для реализации технического эффекта являются:

- периодический контроль состояния ионосферы над зоной обслуживания для определения МПЧ радиолиний и рабочего диапазона частот;
- определение местоположения абонентов для решения о возможности использования частот радиодоступа для канала прямой связи.

Периодический контроль ионосферы над зоной обслуживания узла может выполняться известными средствами и методами вертикального зондирования над узлом и наклонного зондирования между узлом и абонентами по различным азимутам. Определение местоположения абонентов в зоне обслуживания может выполняться с помощью встроенных в абонентские терминалы навигационных приёмников одной из существующих спутниковых навигационных систем. Данные о своём местоположении абонентские терминалы могут пере-

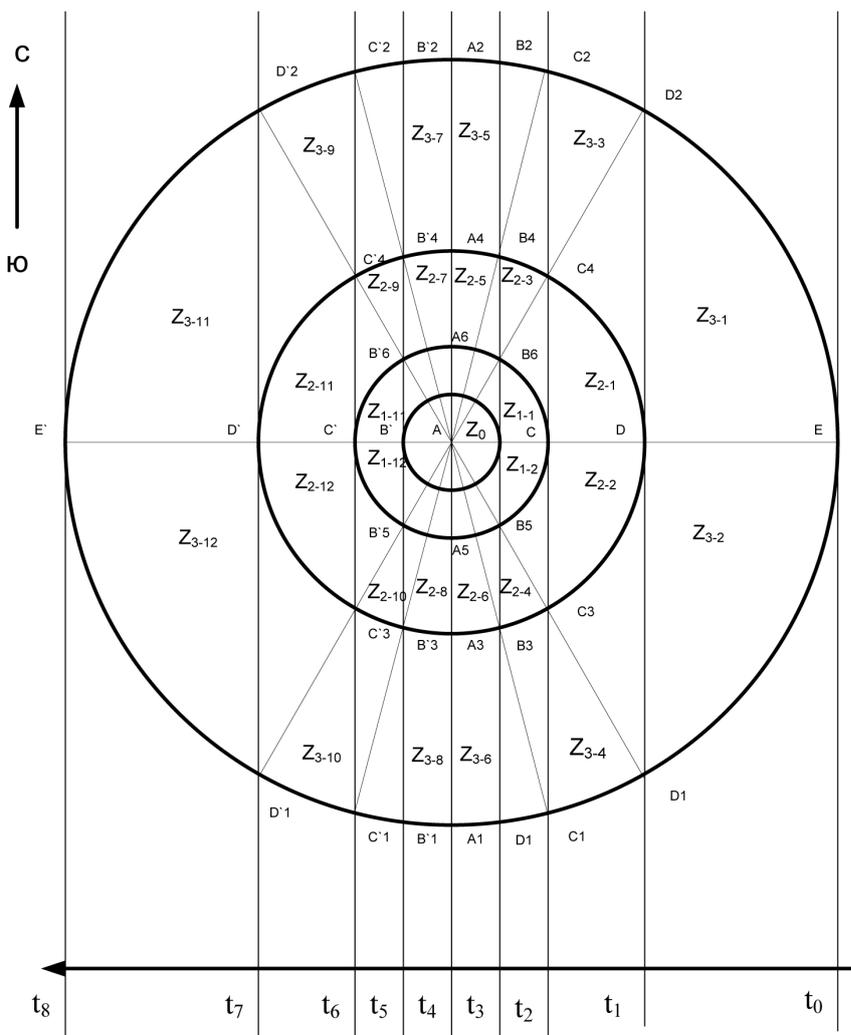


Рис. 1. Территориальное структурирование зоны радиодоступа

давать узлу при выполнении принятой для конкретной системы процедуры установления связи.

Используя графическое представление из [7], выполним дополнительное территориальное структурирование зоны радиодоступа в соответствии с рис. 1.

Представляется естественным разбить всю зону на фрагменты, заключенные между характерными радиусами (например, A-C2 и A-D2) и границами колец (например, B2-D2 и C4-D4).

Присвоим центральному круговому элементу минимального радиуса обозначение  $Z_0$ . Присвоим остальным элементам зоны обозначения  $Z_{n-k}$  таким образом, чтобы нечётные значения  $n$  соответствовали верхней полуплоскости, а соседние чётные – нижней. В этом случае последовательность суточной смены частот будет соответствовать возрастанию  $n$ . Зададим значения индексов  $n$  и  $k$

$$n = 1, 2, \dots, N \text{ и } k = 1, \dots, K,$$

где  $N=12$  количество сегментов одного кольца,

$K=3$  количество колец над кругом  $Z_0$ .

Тогда общее количество управляемых элементов зоны составит

$$Z = N \cdot K + 1 = 37.$$

Каждому элементу присвоим собственную группу рабочих частот  $\Delta F_{n-k}$ , соответствующих условиям распространения единственной модой 1F2. Оценим условия распространения ДКМВ на различных трассах для квазистационарной и переходной ионосферы.

В квазистационарной ионосфере МПЧ радиотрасс плавно увеличиваются по дальности. Ионосфера работает как некий пространственный фильтр, запрещающий применение высоких частот для коротких трасс и допускающий применение низких частот на коротких и длинных расстояниях.

Абонентам зоны  $Z_{2-1}$  невозможно установить связь с узлом или зоной  $Z_{3-1}$  на частотах  $\Delta F_{3-1}$ . Эти частоты превышают МПЧ более коротких радиотрасс до узла и  $Z_{3-1}$ . Но на этих частотах можно создать канал из  $Z_{2-1}$  с любыми другими абонентами зоны, удалёнными на максимальные расстояния одного скачка. Канал радиодоступа из  $Z_{3-1}$  к узлу и канал прямой связи из  $Z_{2-1}$  к удалённому абоненту, например в  $Z_{2-11}$ , могут работать на одной частоте без нарушения ЭМС. При этом абонент  $Z_{2-1}$  не будет мешать доступным по дальности абонентам  $Z_{3-k}$ , так как их частотные группы  $\Delta F_{3-k}$  отличаются от  $\Delta F_{3-1}$ . Эти рассуждения справедливы для всех зон с индексами  $Z_{2-k}$  и  $Z_{1-k}$ .

Прямой канал между  $Z_{2-1}$  и  $Z_{2-11}$  может быть установлен в квазистационарной ионосфере без нарушения ЭМС на паре групп частот  $\Delta F_{3-1}$  и  $\Delta F_{3-11}$ . Частоты элемента  $Z_0$  могут одновременно использоваться на элементах  $Z_{3-k}$  вблизи внешней границы зоны с некоторыми дополнительными ограничениями.

Присутствие СТ в зоне обслуживания узла вызывает наложение поддиапазонов рабочих частот  $\Delta F_{n-k}$ ,

смежных по индексу  $k$ , для элементов из области СТ. В этом случае для прямой связи удалённых абонентов остаётся одна группа частот, взятая со стороны элемента, не поражённого СТ.

Особенности ионосферного распространения и предложенная пространственно-частотная архитектура системы радиодоступа позволяет организовать на территории зоны две подсистемы: радиодоступа к узлу (РДУ) и прямой связи абонентов (ПСА). Обе подсистемы могут работать на одних и тех же частотах без взаимных помех.

Предлагаемая архитектура потенциально увеличивает эффективность использования спектра ДКМВ, но требует изменения порядка распределения и использования радиочастот. Для поддержки такой архитектуры необходимы специализированные процедуры контроля ионосферы и помех в зоне обслуживания, которые по сложности и мощности программного обеспечения соответствуют системам четвёртого поколения.

## Литература

1. Зайцев, В. В. Оценка размеров зоны обслуживания и нижней границы пропускной способности узла радиодоступа диапазона ДКМВ / В.В. Зайцев // Информация и Космос. – 2014. – № 1. – С. 13–17.
2. Комплексное экспериментальное оценивание характеристик распространения КВ сигналов на среднеширотных трассах различной протяженности и ориентации / Г.Г. Вертоградов [и др.] // Изв. вузов. Радиоп физика. – 2004. – Т. 47. – № 1. – С. 15–31.
3. Березин, Ю. В. Декаметровые ионосферные линии радиосвязи с высокой пропускной способностью / Ю.В. Березин, И.С. Вылегжанин // Радиотехника. – 2005. – № 1. – С. 6–12.
4. MIL-STD-188-141B. Interoperability and Performance Standarts for Medium and High Frequency Radio Systems / Department of Defense Interface Standart USA, 1 march 1999.
5. Фейнберг, Е. Л. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности / Е.Л. Фейнберг. – 2-е изд. – М.: Наука. Физматлит, 1999. – 496 с.
6. Распространение радиоволн: Учебник / под ред. О.И. Яковлева. – М.: ЛЕНАНД, 2009. – 496 с.
7. Зайцев, В. В. Суточное изменение рабочих частот в зоне обслуживания узла односкачкового радиодоступа диапазона ДКМВ / В.В. Зайцев, С.П. Присяжнюк // Информация и Космос. – 2014. – № 1. – С. 18–19.