

# О возможностях использования коротковолновой ионосферной радиосвязи на железнодорожном транспорте

С. И. Лапунов

ОАО «Российские железные дороги»  
lapunovsi@css.rdz.ru

Д. Н. Роенков<sup>1</sup>, П. А. Плеханов<sup>2</sup>

Петербургский государственный университет путей  
связи Императора Александра I

<sup>1</sup>roenkov\_dmitry@mail.ru

<sup>2</sup>pavelplekhanov@gmail.com

**Аннотация.** Использование коротковолновой ионосферной радиосвязи может являться одним из вариантов организации технологической радиосвязи на протяженных железнодорожных участках (включая малоинтенсивные). Поскольку ионосфера представляет собой слоистую структуру, то необходимо учитывать факторы, влияющие на ее отражающие свойства, в том числе, полярное сияние. Для организации коротковолновой ионосферной радиосвязи целесообразно построение собственных сетей ОАО «Российские железные дороги» с учетом доступности коротковолнового диапазона радиочастот.

**Ключевые слова:** коротковолновая ионосферная радиосвязь, технологическая железнодорожная радиосвязь, поездная радиосвязь, малоинтенсивные железнодорожные участки

## I. ОСОБЕННОСТИ ИОНОСФЕРЫ

Коротковолновая (КВ) радиосвязь над поверхностью Земли может быть организована с помощью поверхностных земных и пространственных радиоволн, при этом, поверхностная волна излучается под углом не более трех-четырех градусов и распространяется за счет дифракции. Для осуществления поездной радиосвязи (ПРС) диапазона гектометровых волн на основе использования Г-образных антенн применяются именно поверхностные волны, которые, однако, из-за потерь в земле, достаточно быстро затухают. Таким образом, связь становится возможной лишь на расстояние не более 15 км. В свою очередь, пространственные волны распространяются, преломляясь и отражаясь в ионосфере, тем самым обеспечивая минимальные потери.

Атмосфера представляет собой газообразный слой, поднимающийся над поверхностью Земли более чем на 3 000 км. В верхних слоях атмосферы под влиянием ультрафиолетовых лучей происходит расщепление нейтральных молекул на ионы и электроны. В результате этого процесса образуется ионизированная область – ионосфера. При этом, атмосфера имеет несколько уровней с максимальной степенью ионизации.

Атмосферные азот и кислород, молекулы которых содержат по два атома, на высоте более 90 км из-за

солнечного излучения распадаются на атомы, в результате чего появляются слои с преимущественным содержанием молекулярного, а также атомарного кислорода и азота (рис. 1).

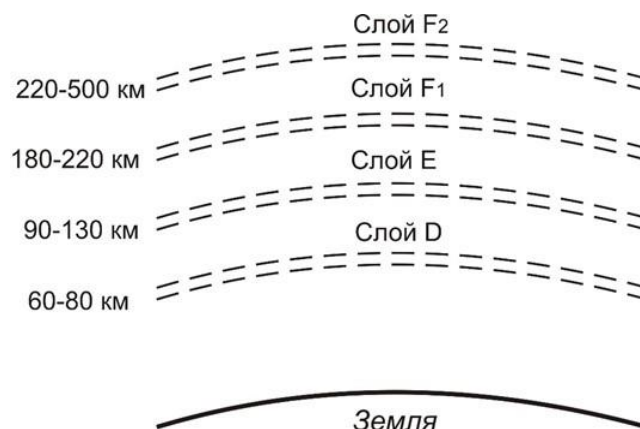


Рис. 1. Слои ионосферы

Нижний ионизированный слой D находится на высоте 60–80 км над поверхностью Земли, слой E – 90–130 км, F1 – 180–220 км, F2 – 220–500 км. При этом, слой D обладает наименьшей ионизацией, а у последующих слоев ионизация повышается. Причем ночью ионизация отсутствует, и слои D и F1 полностью исчезают, а слои E и F2 сохраняются, однако, интенсивность их ионизации значительно снижается.

Ионизированные слои оказывают воздействие на диэлектрическую проницаемость атмосферы таким образом, что с понижением проницаемости показатель преломления уменьшается, и угол преломления оказывается больше угла падения. При увеличении угла преломления происходит и увеличения угла падения на следующий слой. В результате, в определенном ионизированном слое угол преломления становится равным 90 градусов, и происходит полное внутреннее отражение, после чего луч отклоняется вниз в сторону Земли.

Для отражения электромагнитной волны требуется тем меньшее преломление, чем под меньшим углом излучается эта волна. При этом, наименее вероятно

отражение волн, излучаемых отвесно под углом 90 градусов.

Критической длиной волны ионизирующего слоя является такая длина, меньше которой отражение к Земле направленных вертикально волн невозможно. Для самого ионизированного слоя F2 критическая длина волны равна 23–45 м (6,7–13 МГц). Это означает, что волны длиной более 23–45 м отразятся к Земле при любом угле падения на ионосферу. Для волны меньшей длины возвращение на Землю будет возможно лишь при достаточном отклонении излучаемых волн от перпендикуляра к поверхности ионосферы.

## II. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ КОРОТКОВОЛНОВОЙ РАДИОСВЯЗИ

В России сегодня КВ радиосвязью пользуются только отдельные ведомства (Минобороны, погранвойска, спецслужбы). При этом, заинтересованные в КВ радиосвязи организации в последние десятилетия были вынуждены решать стоящие перед ними задачи самостоятельно [1–3]. Результатом стало создание отдельными ведомствами собственных сетей КВ радиосвязи, не взаимодействующих между собой.

Развитию систем КВ связи способствует переход на цифровой формат и появление возможностей создания национальной сети КВ радиосвязи, организуемой подобно сети сотовой связи [4–7]. Масштабы решаемых задач требуют централизованного управления эксплуатацией и развитием сети [8–10]. Однако сегодня государственная программа развития КВ радиосвязи и создания единой сети КВ радиосвязи России отсутствует, и фактически отсутствует государственная инфраструктура КВ радиосвязи, которую возможно было бы задействовать для решения задач обеспечения КВ радиосвязью нужд ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») [11, 12].

Одним из основных направлений потенциального применения КВ радиосвязи на железнодорожном транспорте является организация ПРС на малоинтенсивных железнодорожных участках (МЖУ), протяженность и техническая оснащенность которых делает затруднительным использование стандартных схем организации радиосвязи, предусмотренных Методическими рекомендациями по организации и расчету сетей поездной радиосвязи ОАО «РЖД» (утверждены распоряжением ОАО «РЖД» № 2854р от 23 декабря 2013 г.) [13, 14].

## III. ТИПОВЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ КОРОТКОВОЛНОВОЙ ИОНОСФЕРНОЙ РАДИОСВЯЗИ НА МАЛОИНТЕНСИВНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЧАСТКАХ

Возможны три основные схемы организации ПРС на МЖУ с использованием КВ радиосвязи:

1) схема организации ПРС на МЖУ с использованием канала КВ радиосвязи в качестве линейного канала поездного диспетчера (ДНЦ);

2) схема организации ПРС на МЖУ по каналу подвижной КВ радиосвязи;

3) схема организации ПРС на МЖУ с использованием канала КВ радиосвязи в качестве линейного канала ДНЦ, а также с установкой возимой радиостанции диапазона КВ на подвижные объекты.

Интенсивность переговоров по радиоканалу на отдельно взятом МЖУ, как правило, невелика. В то же время, радиопокрытие в сети КВ радиосвязи обеспечивается на расстояние до 1500 км и более. С учетом этого становится очевидной целесообразность организации объединенной системы КВ радиосвязи для группы МЖУ, расположенных на части или на всей территории какой-либо железной дороги. Реализация такого решения позволит существенно повысить экономическую эффективность построения системы радиосвязи.

В зависимости от количества МЖУ, которые следует обеспечить КВ радиосвязью, а также от требований по надежности и доступности связи, объединенная система КВ радиосвязи может строиться с использованием одной или нескольких базовых станций (БС) КВ радиосвязи. При использовании нескольких территориально разнесенных БС отражение идущих от разных БС радиоволн происходит от значительно удаленных друг от друга участков ионосферы, что существенно снижает вероятность одновременного пропадания связи с разными БС из-за проблем, связанных с нестабильностью состояния отражающих радиоволны слоев ионосферы (рис. 2).

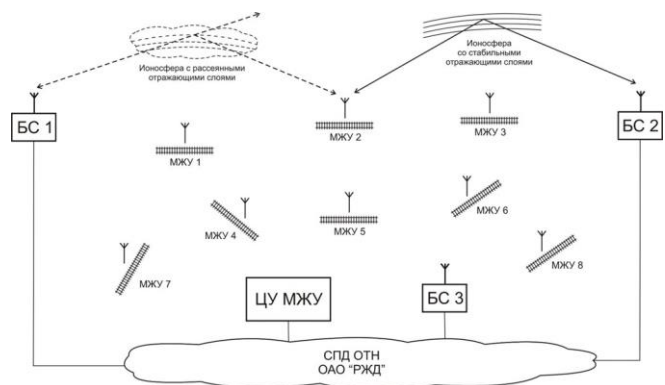


Рис. 2. Пример схемы построения объединенной системы КВ радиосвязи для нескольких МЖУ с использованием трех БС КВ радиосвязи (ЦУ – центр управления; СПД ОТН – сеть передачи данных оперативно-технологического назначения)

При этом, в первоочередном порядке должна выполняться оценка доступности радиочастот: при фактической недоступности необходимых для работы проектируемой радиосистемы частот рассмотрение всех других вопросов, связанных с ее проектированием, становится бессмысленным [15].

## IV. ЧАСТОТЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ КОРОТКОВОЛНОВОЙ ИОНОСФЕРНОЙ РАДИОСВЯЗИ

Использование радиочастот в диапазоне от 283,5 кГц до 30,005 МГц (КВ диапазон, в котором и организуется ионосферная радиосвязь), регламентируется решением Государственной комиссии по радиочастотам от 9 мая

2006 г. № 06-14-03-001 (с изменениями на 24 декабря 2019 г.) «О выделении полос радиочастот в диапазоне 283,5 кГц – 30,005 МГц для радиоэлектронных средств фиксированной и подвижной служб гражданского назначения». Анализ данного Решения показывает, что для организации систем фиксированной и подвижной технологической железнодорожной радиосвязи в КВ диапазоне могут быть использованы частоты из перечисленных в Решении полос радиочастот при условии получения в установленном порядке разрешения на их использование, а также при регистрации в установленном порядке радиоэлектронных средств фиксированной и подвижной служб.

По предварительной оценке, частоты данного диапазона в настоящее время доступны в необходимом для организации технологической железнодорожной радиосвязи количестве, и получение разрешений на их использование не должно вызывать трудностей при организации отраслевых сетей КВ радиосвязи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Лапунов С.И., Роенков Д.Н., Плеханов П.А. Коротковолновая ионосферная радиосвязь и возможности ее применения // Автоматика, связь, информатика. 2022. № 7. С. 14-19.
- [2] Лапунов С.И., Роенков Д.Н., Плеханов П.А., Глухов И.А. Применение систем коротковолновой радиосвязи на малоинтенсивных железнодорожных участках // Автоматика, связь, информатика. 2022. № 9. С. 4-8.
- [3] Лапунов С.И., Роенков Д.Н., Плеханов П.А., Глухов И.А. Радиосвязь на малоинтенсивных железнодорожных участках // Автоматика, связь, информатика. 2022. № 11. С. 2-7.
- [4] Плеханов П.А., Роенков Д.Н. Цифровые системы подвижной связи на железнодорожном транспорте. СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2020. 41 с.
- [5] Плеханов П.А., Роенков Д.Н. Подвижная связь 5G // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 5. С. 8-12.
- [6] Роенков Д.Н., Плеханов П.А. Технология МИМО для подвижной связи 5G // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 8. С. 21-25.
- [7] Роенков Д.Н., Плеханов П.А. Мобильные сети поколения 5G: перспективы применения // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 10. С. 2-7.
- [8] Плеханов П.А., Роенков Д.Н. Стандартизация требований для систем беспроводной связи // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 4. С. 38-42.
- [9] Шматченко В.В. Роенков Д.Н., Плеханов П.А., Иванов В.Г., Яронова Н.В. Влияние отказов и сбоев системы радиосвязи GSM-R на безопасность перевозочного процесса // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2016. Т. 13, вып. 4. С. 570-578.
- [10] Шматченко В.В. Роенков Д.Н., Плеханов П.А., Иванов В.Г., Яронова Н.В. Влияние отказов и сбоев системы радиосвязи GSM-R на готовность перевозочного процесса // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2017. Т. 14, вып. 3. С. 490-500.
- [11] Роенков Д.Н., Плеханов П.А. Беспроводная связь для высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Санкт-Петербург // Автоматика, связь, информатика. 2021. № 12. С. 11-13.
- [12] Роенков Д.Н., Плеханов П.А., Шматченко В.В., Иванов В.Г. СТУ для организации радиосвязи на ВСМ Москва – Казань // Автоматика, связь, информатика. 2016. № 6. С. 23-26.
- [13] Роенков Д.Н., Коренной Г.О. Методические указания по организации и расчету сетей ПРС // Автоматика, связь, информатика. 2014. № 6. С. 18-20.
- [14] Роенков Д.Н., Коренной Г.О. Методические указания по организации и расчету сетей ПРС // Автоматика, связь, информатика. 2014. № 7. С. 11-15.
- [15] Плеханов П.А., Роенков Д.Н. Переход к будущей железнодорожной системе подвижной связи // Автоматика, связь, информатика. 2021. № 5. С. 6-11.