УДК 621.396

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СВЯЗИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА ПЕРЕГОНЕ ПОСРЕДСТВОМ ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДОСТУПА

С. М. КУЦЕНКО
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
Санкт-Петербург, Россия

При организации аудио- и видеоконференции (ВКС) с места аварийно-восстановительных работ (АВР) на железнодорожном транспорте важно иметь устойчивый канал связи. Для этих целей используют традиционные линии перегонной связи (ПГС). В последнее время большой популярностью пользуются мобильные комплексы ВКС, которые в своем составе имеют оборудование спутниковой связи. Однако возникает закономерный вопрос: как обеспечить связь в зонах неуверенного приема спутникового сигнала? Важным этапом развития сетей оперативно-технологической связи является постепенный перевод линий ПГС с медного кабеля на оптический. На некоторых действующих участках уже применяется технология пассивных оптических сетей (PON). В этом случае на станции и на перегоне в распределительный шкаф устанавливается сетевое оборудование [1, 2].

В статье предлагается дополнить указанное сетевое оборудование, устанавливаемое на перегоне, беспроводным маршрутизатором стандарта Wi-Fi. Расчет параметров зоны покрытия сети целесообразно провести для плотной городской среды и пригородной местности с использованием модели, изложенной в [3]. Потери при распространении радиоволн рассчитываются по формуле

$$a(r) = 10\gamma\lg(f) + 10\alpha\lg(r) + \beta,$$

где f – частота, ГГц; r – расстояние, м; α, β, γ – коэффициенты основных потерь передачи в условиях распространения ниже уровня крыш.

Результаты расчетов зависимости потерь от расстояния при различных условиях приведены в табл. 1. Здесь a – потери в жилой зоне ($\gamma = 2{,}07$, $\alpha = 3{,}01$, $\beta = 18{,}8$); b – потери в плотной городской застройке ($\gamma = 2{,}36$, $\alpha = 4$, $\beta = 10{,}2$); c – потери в пригородной зоне ($\gamma = 2{,}11$, $\alpha = 2{,}12$, $\beta = 29{,}2$).

Табл. 1. Результаты расчетов

r, м	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
a, дБ	71	77	80	83,5	84,9	86,4	87,4	88,9	90,6	91,1
b, дБ	78	87	92,4	95,8	98,8	100,8	103,2	105,2	106,4	107,4
c, дБ	90,4	101,3	108,2	112,6	117	119,6	122	124,5	126,7	128,7

Чувствительность промышленных Wi-Fi-маршрутизаторов, как правило, находится в диапазоне от –90 до –110 дБм. Следовательно, согласно получен-

ным расчетам, стабильная работа оборудования возможна преимущественно на дистанциях до 100...200 м в условиях плотной городской застройки и до 800...900 м в пригороде (серые ячейки таблицы показывают гарантированный приём для каждой зоны). Для уверенного приема за пределами этих зон потребуется установка дополнительных точек доступа или направленных антенн. Кроме того, необходимо учитывать специфику железнодорожного полотна: металлические конструкции вагонов и рельеф местности создают дополнительные препятствия и многолучевое распространение сигнала, что требует закладывать запас по мощности не менее 10 %...15 % сверх расчётных значений.

Помимо обеспечения технологической связи, установленное в распределительном шкафу сетевое оборудование позволяет реализовать технологии промышленного интернета вещей (IIoT) с применением стандарта LoRaWAN [4]. Это решение открывает возможность для организации телеметрии различных параметров объектов транспортной инфраструктуры и подвижного состава. Внедрение современных датчиков позволит повысить качество мониторинга критически важных элементов: состояния рельсов и железнодорожного пути, отдельных узлов и агрегатов подвижного состава.

Поскольку датчики в сетях LoRaWAN обладают высокой энергоэффективностью и чувствительностью (варьирующейся от –130 до –160 дБм), радиус их покрытия может достигать 1 км. Однако при анализе данных табл. 1 следует учитывать важный технический нюанс: значения потерь a, b и c рассчитаны для диапазонов Wi-Fi (обычно 2,4 или 5 ГГц). Для субгигагерцевых частот LoRaWAN (868 МГц) коэффициент γ будет ниже, а реальный уровень затухания – меньше на 10...15 дБ по сравнению со строкой c (пригородная зона).

Учитывая, что распределительные шкафы устанавливаются вдоль перегона примерно через каждые 2,5 км, зоны уверенного приема соседних точек доступа будут перекрываться. Таким образом, появляется техническая возможность практически полностью организовать непрерывный мониторинг вышеперечисленных объектов на всем протяжении участка железной дороги без использования дополнительных ретрансляторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Шевчук, В. Г.** Использование технологии пассивных оптических сетей (PON) для организации перегонной, аварийно-восстановительной и специальной связи на перегоне железной дороги / В. Г. Шевчук, А. Н. Бельский // Современные средства связи. – 2022. – Т. 1, № 1. – С. 182–184.

2. Пассивные оптические сети для организации связи на перегоне / Д. А. Попов, А. С. Ванчиков, А. К. Канаев, В. В. Кренев // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 3. – С. 10–13.

3. Рекомендация МСЭ-R P.1411-10.

4. **Евдокимова, О. Г.** Применение технологии IoT для автоматизации диагностики состояния заземлителей / О. Г. Евдокимова, С. М. Куценко, Б. А. Мешков // Автоматика, связь, информатика. – 2024. – № 4. – С. 10–13.