

## ЭВОЛЮЦИЯ МОДЕЛЕЙ ЧАСТОТНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Суть частотно-территориального планирования (ЧТП) заключается в том, чтобы определить оптимальное расположение антенн, мощность передачи и частотный диапазон для каждой антенны, с целью обеспечить необходимое покрытие и качество связи во всех областях покрытия. При этом учитываются такие факторы, как топография местности, наличие препятствий, плотность населения, требования к скорости передачи данных и т.д.

Выбор модели частотно-территориального планирования основывается на ряде факторов, таких как:

1) технические требования к сети: каждый тип сети имеет свои уникальные требования, такие как частотный диапазон, пропускная способность, скорость передачи данных, задержка и т.д.;

2) особенности местности: каждая местность имеет свои уникальные особенности, такие как гористость, плотность населения, наличие водоемов, застройки и т.д.;

3) доступность данных: для применения некоторых моделей необходимо иметь определенные данные, такие как высоту антенн, мощность передатчиков, характеристики зданий и т.п.;

4) стоимость и доступность модели: различные модели могут иметь разные стоимости и быть доступными только в определенных странах или регионах.

Существуют три типа моделей ЧТП: *эмпирические, детерминистические и статистические*. Статистические основываются на функции плотности вероятности. Данный тип моделей наименее точен, но при этом требует меньше входной информации о состоянии передающей среды. Какой-либо популярностью они не пользуются, поэтому в дальнейшем мы рассматривать их не будем.

**Эмпирические модели ЧТП.** *CCIR*-модель была разработана в 1961 году Международным союзом электросвязи ИТУ-Т для прогнозирования потерь сигнала, который использовался в то время для передачи сигналов телевизионного вещания и радиосвязи. Модель *CCIR* предоставляет способ оценки потерь сигнала при передаче через атмосферу Земли, включая потери на свободном пространстве, потери при распространении вдоль земной поверхности и потери на отражении от земной поверхности.

С тех пор модель SSIR была пересмотрена и усовершенствована несколько раз, чтобы учитывать новые технологии и спектр частот, используемых для радиосвязи. Модель применима для планирования в диапазоне 150–1000 МГц, поэтому недостатком модели SSIR является сравнительно небольшой диапазон частот, на которых она считается валидной.

Okumura model (*модель Окамура*) была разработана японским ученым Хироси Окамура в 1968 году. Она была создана для описания распространения радиоволн в городских условиях и использовалась для планирования сетей связи в Японии.

Окамура провел обширные исследования в городских условиях, измеряя уровень сигнала на различных расстояниях от передатчика и на разных частотах. Он выяснил, что распространение сигнала в городских условиях сильно зависит от местности и типа зданий, препятствующих распространению сигнала.

На основе этих исследований Окамура разработал формулу для расчета потерь сигнала при распространении через городскую местность, которая стала известна как модель Окамура. Она учитывает влияние множества факторов, включая высоту передатчика и приемника, тип местности, тип зданий, диапазон частот и другие параметры.

Модель Окамура была принята в Японии в качестве стандарта для планирования сетей связи и позже была использована во многих других странах.

*COST-231* – это европейский исследовательский проект, который был инициирован в 1992 году с целью разработки новой модели для прогнозирования характеристик распространения радиоволн в городских и пригородных условиях. В проекте приняли участие исследователи из 14 европейских стран, включая Францию, Германию, Италию, Испанию и Великобританию.

Основной целью проекта COST-231 была разработка модели распространения, которую можно было бы использовать для прогнозирования характеристик распространения радиоволн в городских и пригородных районах на частотах до 2 ГГц.

*Детерминистические модели ЧТП. Модель Wolfish-Ikegami* – это модель распространения радиосигналов, которая была разработана Такао Икегами и его командой в Соединенных Штатах в 1970-х и 1980-х годах. Модель основана на обширных измерениях и анализе распространения радиосигнала в городских и пригородных условиях и предназначена для обеспечения точных прогнозов уровня сигнала и зоны покрытия.

Модель Вулфиша-Икегами учитывает эффекты дифракции, отражения и рассеяния радиоволн в городских и пригородных условиях

и включает параметры высоты здания, ширины улицы и других факторов окружающей среды. Эта модель широко используется в Соединенных Штатах и других странах для планирования и оптимизации радиосетей.

По сравнению с эмпирическими моделями, модель Wolfish-Ikegami считается более точной в городских и пригородных условиях, где на распространение сигнала влияют сложные взаимодействия со зданиями и другими сооружениями.

*Модель Ся-Бертони* - это модель распространения радиосигналов, которая была разработана в 2011 году Цзяньхуа Ся и Генри Бертони. Это модификация хорошо известной модели COST-231.

Модель Ся-Бертони специально разработана для прогнозирования уровня сигнала в городских условиях и учитывает широкий спектр факторов окружающей среды, таких как плотность застройки, ширина улицы и высота зданий. Модель основана на обширных кампаниях по измерению в городских условиях, и было показано, что во многих случаях она обеспечивает более точные прогнозы уровня сигнала, чем другие модели.

Одной из ключевых особенностей модели Ся-Бертони является использование показателя потерь на пути, который меняется в зависимости от расстояния. Это отличается от других моделей, таких как модель Hata, которые предполагают постоянный показатель потерь на пути для всех расстояний. Изменяющийся показатель потерь на пути в модели Ся-Бертони разработан для учета эффектов дифракции и отражения, которые более значительны на более коротких расстояниях.

Модель Xia-Bertoni получила широкое распространение в телекоммуникационной отрасли для планирования и оптимизации радиосетей, особенно для развертывания сетей Long-Term Evolution (LTE) и 5G в городских условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мамченко М.В., Зорин В.А., Романова М.А. Эмпирическая модель расчета затухания сигнала с учетом коэффициента застройки местности для беспилотных транспортных средств // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН, 2022.

2. В.А. Аксёнов, Э.А. Чуйко. Частотно-территориальное планирование сотовых сетей связи стандарта GSM. – Мн.: БГУИР, 2005.

3. В.Г. Румянцев, А.М. Тарасенко "Радиотехнические системы" (Москва, Издательский дом МЭИ, 2016)

4. "Radio System Design for Telecommunications" by Roger L. Freeman (John Wiley & Sons, 2013).