

Уткин Константин Борисович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ  
ОПЕРАТИВНОЙ ЦИФРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ В ПРОЦЕССЕ  
УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ**

Направление подготовки 11.04.02  
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»  
профиль: Многоканальные телекоммуникационные системы  
программа академической магистратуры

**АВТОРЕФЕРАТ**  
магистерской диссертации  
на соискание квалификации (степени) магистра

Екатеринбург 2020

Работа выполнена в федеральном государственном образовательном бюджетном учреждении высшего профессионального образования «Уральский технический институт связи и информатики (филиал) Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики» (г. Екатеринбург).

Научный руководитель  
к.ф.-м.н., доцент



В.Т. Куанышев

Рецензент:  
к.т.н.



Д.В. Денисов

Защита состоится «1» декабря 2020 г. В 9.00 часов в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), г. Екатеринбург, ул. Репина, д. 15.

Секретарь Государственной аттестационной комиссии

О.А. Шумилова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования и степень ее разработанности.** В настоящее время в промышленности осуществляется массовый переход на цифровые стандарты радиосвязи. В области информационных технологий государство проводит политику цифровизации экономики РФ, тем самым стимулируя и внедряя цифровые технологии. Одним из методов стимулирования на уровне государственной комиссии по радиочастотам, является применение понижающего коэффициента к ежегодной и ежеквартальной плате за использование радиочастот или радиочастотных каналов, тем самым повышая эффективность использования частотного ресурса.

В соответствии «Правил технической эксплуатации железной дороги РФ», «Нормами и правилами оснащения железнодорожного подвижного состава средствами радиосвязи и помехоподавляющими устройствами», а также «Инструкцией по движению поездов и маневровой работе на железнодорожном транспорте» предъявляются жесткие требования к разработке и эксплуатации технологических сетей радиосвязи.

Проблема эффективности использования систем оперативной цифровой радиосвязи в процессе управления производством нашла отражение в ряде исследований. Вопросы моделирования и проектирования систем радиосвязи в трудах Кондратова А.Г., Бузова А.Л., Слюняева А.Н., Захарова А.В., Кнышева И.П. Указанными авторами предложены различные оптимальные и квази-оптимальные алгоритмы и устройства повышения помехоустойчивости, скорости передачи данных систем связи. Чивилев С.В. в своей работе рассматривает методики совместного использования цифрового стандарта TETRA и аналоговой радиосвязи в современных системах управления движением. Колбасюк С.А. подробно описывает стационарные сети цифровой связи высокоскоростной магистрали. Сергиенко А.Б. рассматривает теоретические особенности использования цифровой радиосвязи: виды модуляции, замирания и интерференции сигналов в каналах.

Теоретический анализ литературы показывает, что проблема создания оптимальной модели системы оперативной цифровой радиосвязи рассматривалась достаточно широко. Но в то же время тема использования системы оперативной цифровой радиосвязи в процессе управления производственными процессами мало разработана.

На сегодняшнем этапе развития телекоммуникационных технологий имеется возможность построения технологических сетей цифровой радиосвязи в процессе организации маневровых работ на железнодорожном транспорте.

Маневровые работы присутствуют во всех технологических процессах предприятия. Поскольку железная дорога является объектом повышенной опасности, то она требует эффективного управления.

Для обеспечения устойчивого, непрерывного и оперативного управления маневровыми работами, снижения рисков возникновения несчастных случаев на

производстве, целесообразно использовать систему оперативной цифровой радиосвязи.

Цифровая радиосвязь используется в широком спектре промышленности Российской Федерации: энергетика, угольная и нефтегазовая добыча, транспорт.

Основной проблемой промышленных предприятий тяжелого машиностроения является разработка системы оперативной цифровой радиосвязи. Указанные обстоятельства выдвигают проблему исследования – выявление условий создания системы оперативной цифровой радиосвязи, как технологической радиосети промышленного предприятия.

**Объектом исследования** является система оперативной цифровой радиосвязи.

**Предметом исследования** являются условия использования системы оперативной цифровой радиосвязи в процессе производства маневровых работ.

**Целью работы** – описание комплекса условий обеспечивающих эффективное использование системы оперативной цифровой радиосвязи в процессе производства маневровых работ подразделениями промышленного предприятия.

**Задачи исследования:**

- охарактеризовать систему оперативной цифровой радиосвязи для дальнейшей разработки и верификации оптимальной модели;
- выявить особенности управления маневровыми работами на основе системы оперативной цифровой радиосвязи;
- разработать рекомендации по управлению маневровыми работами на основе системы оперативной цифровой радиосвязи;
- описать результаты апробации модели системы оперативной цифровой радиосвязи в процессе производства маневровых работ железнодорожного цеха.

**Научная новизна** – предложен подход к решению задач эффективности использования системы оперативной цифровой радиосвязи при производстве маневровых работ.

**Теоретическая и практическая** значимость работы заключается в описании оптимальной модели системы оперативной цифровой радиосвязи, во внедрении модели в процессе производства маневровых работ на машиностроительном предприятии. Разработана оптимальная модель системы оперативной цифровой радиосвязи.

Верифицирована оптимальная модель системы оперативной цифровой радиосвязи в процессе производства маневровых работ подразделениями промышленного предприятия.

**Положения, выносимые на защиту:**

1) Система оперативной цифровой радиосвязи с учетом современных требований включает в себя три сегмента:

- сегмент управления, в который входят диспетчеры и администраторы сети. Функциональное предназначение диспетчера заключается в подаче команд (распоряжений), контроле процесса выполнения работ, в выдаче промежуточных

указаний. Администратор системы обеспечивает настройку системы оперативной цифровой радиосвязи и поддерживает ее работоспособность.

- базовый сегмент, состоящий из радиосервера и подключенных к нему стационарных базовых станций и ретрансляторов, в соответствии выбранному стандарту DMR (Digital Mobile Radio).

- пользовательский сегмент, который включает парк мобильных и портативных радиостанций.

2) Функционирование системы оперативной цифровой радиосвязи будет эффективно при следующих условиях:

- соблюдение нормативно-правовых актов в области связи;

- соблюдения требований частотно-территориального планирования системы оперативной цифровой радиосвязи;

3) Данная модель системы оперативной цифровой радиосвязи была успешно внедрена в процесс производства маневровых работ в железнодорожном цехе АО «НПК «Уралвагонзавод». Ее позволило предприятию значительно сократить время взаимодействия в рабочих бригадах, повысить исполнительскую дисциплину, сократить расходы на сотовую связь, а главное, обеспечить устойчивое, непрерывное и оперативное управление маневровыми работами железнодорожного цеха, снизить риски возникновения несчастных случаев на производстве, уменьшить количество несчастных случаев.

Возрастающая надежность соединения и увеличенная пропускная способность радиоканалов позволила значительно повысить эксплуатационную эффективность системы.

4) На основе верификации системы оперативной цифровой радиосвязи разработана типовая инструкция по работе с абонентскими радиостанциями локомотивно-составительской железнодорожного цеха.

#### **Апробация и внедрение результатов исследования.**

Основные результаты диссертации были получены и использованы в рамках проекта «Система оперативной цифровой радиосвязи АО «НПК «УРАЛВАГОНЗАВОД» им. Ф.Э. Дзержинского. Материалы магистерской диссертации были изложены в статье (Студенческий вестник: электронный научный журнал 2020 г. № 38(136) от 26.10.2020). Результаты диссертации обсуждались на всероссийской научно-практической конференции «Информационные технологии и когнитивная электросвязь», (УрТИСИ СибГУТИ, Екатеринбург, 2020), на всероссийской научно-практической конференции «Цифровая Экономика. Новое Время – Новые Технологии. Росинфоком 2020», (ПГУТИ, Самара, 2020).

**Степень достоверности результатов исследования.** Достоверность результатов обеспечена теоретическими расчетами зоны покрытия радиосети; измерениями технических параметров РЭС, (напряженности электромагнитного поля); анализом соответствия допустимых норм и полученных результатов измерений.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа включает введение, 4 главы, заключение, список литературы из 59 наименований, 6 приложений.

Объем диссертации 129 листа, включены 21 таблица и 25 рисунков.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, определены научная новизна и практическая значимость работы, изложены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе Анализ современной литературы по теме исследования** описана предметная область рассматриваемой в работе темы исследования по использованию системы оперативной цифровой радиосвязи при производстве маневровых работ.

Теоретический анализ литературы показывает, что проблема создания оптимальной модели системы оперативной цифровой радиосвязи рассматривалась достаточно широко. Но в то же время тема использования системы оперативной цифровой радиосвязи в процессе управления производственными процессами мало разработана. Основной проблемой промышленных предприятий тяжелого машиностроения является разработка системы оперативной цифровой радиосвязи. Имеется возможность создания оптимальной модели системы оперативной цифровой радиосвязи в условиях крупного промышленного предприятия в процессе производства маневровых работ.

Указанные обстоятельства выдвигают проблему исследования – выявление условий создания системы оперативной цифровой радиосвязи, как технологической радиосети промышленного предприятия.

**Во второй главе Технические характеристики цифровой радиосвязи** рассмотрена архитектура системы оперативной цифровой радиосвязи, указывающая на ее децентрализованность. Обозначены три основных сегмента системы (управления, базовый и абонентский). Подробно описаны: технология DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunication), открытый стандарт цифровой радиосвязи TETRA (Terrestrial Trunked Radio), стандарт DMR (Digital Mobile Radio), стандарт подвижной радиосвязи GSM-R (Global System for Mobile communications - Railway), цифровой интерфейс NEXEDGE. Приведен обзор технических характеристик данных стандартов, с указанием их достоинств и недостатков.

На основе анализа цифровых стандартов радиосвязи обоснован выбор стандарта DMR (Digital Mobile Radio) для дальнейшего моделирования системы оперативной цифровой радиосвязи.

**В третьей главе Специфика условий использования радиосвязи в процессе проведения маневровых работ на предприятии** дана характеристика условий проведения маневровых работ на предприятии. К технологическим условиям относятся система надежной оперативной радиосвязи, обеспечивающей эффективное управление процессами маневровых работ железнодорожного подразделения промышленного предприятия (на площадях АО «НПК «Уралвагонзавод»).

Приведено описание модели системы оперативной цифровой радиосвязи в соответствии с техническими требованиями действующих стандартов. Функциональная структура системы оперативной цифровой радиосвязи отражена на рисунке 1.

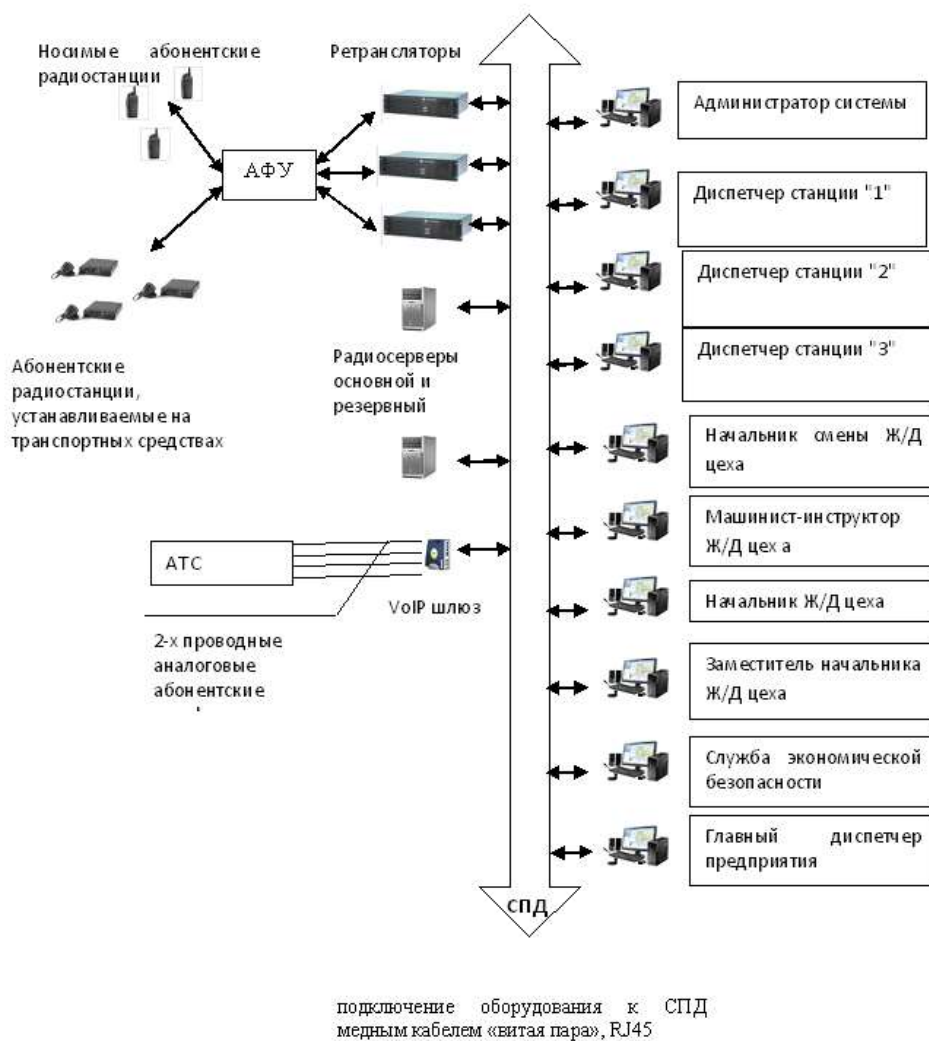


Рисунок 1 – Структура системы оперативной цифровой радиосвязи

Данная функциональная структура, как показала практика, обеспечивает:

- повышение безопасности работы технологического персонала и транспортных средств;
- повышение производительности труда путём улучшения взаимодействия технологического персонала, уменьшения времени на коммуникационные процедуры и снижения вероятности потери информации при её передаче по голосовым каналам беспроводной связи;



- снижение текущих эксплуатационных затрат на содержание оперативной технологической связи;
- улучшение управляемости персоналом за счёт повышения качества (разборчивости) голосовой связи;
- возможность анализа сложных технологических ситуаций по результатам регистрации всех переговоров технологического персонала по радиоканалам;
- регистрацию и контроль перемещения персонала и транспорта на территории;
- выполнение требований руководящих документов по организации оперативной радиосвязи на железнодорожном транспорте.

Нормативно-правовые условия использования системы представлены комплексом рекомендаций, обеспечивающих получение разрешений на использование радиочастот или радиочастотных каналов для радиоэлектронных средств связи (РЭС) сухопутной подвижной службы радиосвязи.

В параграфе 3.3 указано, что обязательным условием получения разрешений на использование радиочастот или радиочастотных каналов является проведение экспертизы электромагнитной совместимости с последующим положительным заключением.

В соответствии с Порядком проведения экспертизы возможности использования заявленных радиоэлектронных средств и их электромагнитной совместимости с действующими и планируемыми для использования радиоэлектронными средствами составляется радиочастотная заявка в ФГУП «ГРЦЧ». В приложении Б к диссертации представлены образцы заполнения тактико-технических данных радиооборудования.

Описаны рекомендации по процедуре получения свидетельств о регистрации РЭС в территориальных органах исполнительной власти Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации.

Представлен образец заявления на присвоение (назначение) радиочастот или радиочастотных каналов в Федеральную службу по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (приложение В).

**В четвертой главе Частотно-территориальное планирование системы оперативной цифровой радиосвязи** описаны методические рекомендации для расчета зоны радиопокрытия системы оперативной цифровой радиосвязи в соответствии с правилами организации и расчета сетей поездной радиосвязи – ГУ «ЦСИ МПС» МСЭ-R P1546-4. Метод основан на графической зависимости медианного значения напряженности электромагнитного поля  $E_2$  от расстояния  $r$  между точкой приема и источником излучения на вероятностном уровне, превышаемом 50 % по месту и времени, представляющей собой базовые кривые распространения, указанные на рисунке 2.

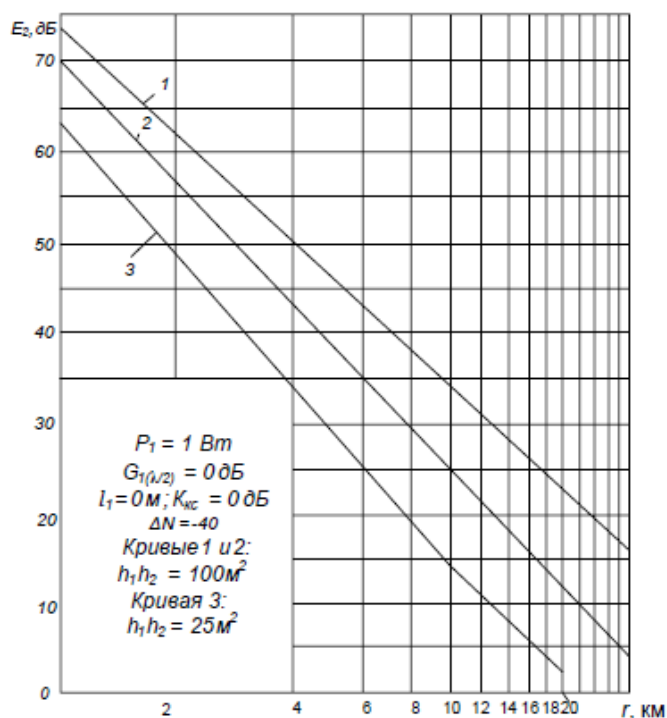


Рисунок 2 – Базовые кривые распространения радиоволн

Кривые приведены для следующих условий:  $h_1 h_2 = 100 \text{ м}^2$  (кривые 1 и 2) – произведение высот установки стационарной и возимой антенн над поверхностью земли;  $h_1 h_2 = 25 \text{ м}^2$  (кривая 3) – произведение высот установки возимых антенн;  $P_1 = 1 \text{ Вт}$  – мощность передатчика;  $G_1 = 0 \text{ дБ}$  – коэффициент усиления передающей антенны по отношению к полуволновому вибратору; затухание в фидере, соединяющем передатчик с антенной, равно нулю ( $\alpha_1 l_1 = 0 \text{ дБ}$ ); индекс преломления воздуха соответствует стандартной атмосфере ( $\Delta N = -40$ ). Расстояние  $r$  отсчитывается по прямой линии.

Кривая 1 соответствует случаю, когда направление распространения радиоволн совпадает с направлением трассы железной дороги. Кривая 2 соответствует случаю, когда направление связи не совпадает с трассой железной дороги. Кривая 3 используется при расчете дальности связи между локомотивами.

Абсолютные значения напряженности поля и напряжения выражены в децибелах по отношению соответственно к  $1 \text{ мкВ/м}$  и  $1 \text{ мкВ}$ . При расчете канала «Стационар-локомотив» индекс 1 относится к стационарной (передающей) радиостанции, индекс 2 – к возимой (приемной). Под высотой установки стационарной антенны  $h_1$  понимается так называемая эффективная высота, которая представляет собой возвышение антенн относительно среднего уровня окружающей местности на расстоянии до  $0,5 \text{ км}$  в направлении связи. Если антенна заслонена в направлении связи промышленными зданиями, жилой застройкой, находящимися на расстоянии  $10\text{-}40 \text{ м}$  от антенны, то эффективную высоту следует отсчитывать от верхнего уровня препятствия.

При расчете радиоканала дальность связи определяется в направлении от стационарного ретранслятора к мобильной радиостанции, поскольку условия приема сигналов мобильной радиостанции значительно хуже, чем на

стационарном ретрансляторе, из-за более высокого уровня помех. Уровень сигнала, дБ, на входе приемника подвижного объекта рассчитывается:

$$E_2 = u_2 - a_T - B_M - M - G_1 - G_2 + \alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2 + K_3 + g_2 + K_{КС} + K_{И} + K_{В} + K_{М}(1)$$

где  $E_2$  – уровень напряженности поля, отсчитываемый по соответствующей базовой кривой для заданного расстояния;

условия  $u_2 \geq U_{2МИН}$  (где  $U_{2МИН}$  – минимально допустимый уровень полезного сигнала входе приёмника, необходимого для получения требуемого качества связи в конкретных условиях). Значения  $U_{2МИН}$ , которые следует использовать при расчетах, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения минимально допустимый уровень полезного сигнала на входе приемника возимой радиостанции в зависимости от условий эксплуатации

Условия эксплуатации радиосредств	$U_{2МИН}$ для приемопередатчика, дБ
Участок с тепловозной тягой	2
Электрифицированный участок постоянного тока при скорости движения, км/ч: до 120 свыше 120	8 12
Электрифицированный участок переменного тока: европейской части России азиатской части России	14 12
То же при автономной тяге: европейской части России азиатской части России	16 14

коэффициент  $a_T$  учитывает условия распространения радиоволн на конкретной трассе радиосвязи. Трассы поездной радиосвязи по характеру рельефа местности, по которой они проходят, подразделяются на пять типов. Каждому типу соответствует определенное значение коэффициента сложности трассы  $K_{cm}$ , которое может колебаться в пределах от 1 до 5. Для более точного определения типа трассы по ее характеристикам введены условно понятия нулевого ( $K_{cm} = 0$ ) и шестого ( $K_{cm} = 6$ ) типа трассы. В противном случае трассы типов 1 и 5 будут появляться очень редко по результатам расчета, так как всегда часть характеристик будет сложнее типа 1 и проще 5 при фактическом наличии типов 1 и 5 трассы.

$B_M$  – поправочный коэффициент учитывает отличие параметров антенно-фидерных трактов, мощности передатчика и рельефа местности от условий, для которых приведены кривые на рисунке 2 рассчитывается:

$$B_M = 10 \log(P/P_1) \quad (2)$$

учитывая отличие мощности передатчика  $P$  от мощности  $P_1 = 1$  Вт, на рисунке3 представлен график для определения поправочного коэффициента  $B_m$ ;

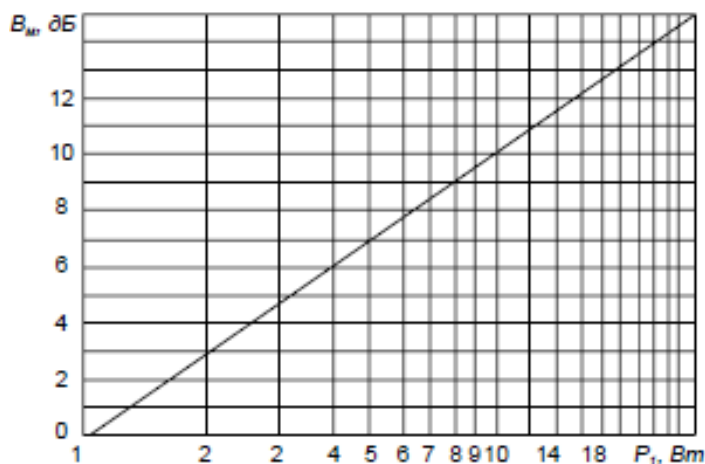


Рисунок 3 – График для определения поправочного коэффициента  $B_m$

высотный коэффициент определяется по формуле, дБ:

$$M = 20 \log(h_1 h_2 / 100) \quad (3)$$

$M$  – высотный коэффициент, кривые приведены для следующих условий:  
 $h_1 h_2 = 100 \text{ м}^2$  (кривые 1) – произведение высот установки стационарной и возимой антенн над поверхностью земли,  $h_1 h_2 = 25 \text{ м}^2$  (кривые 2);

$G_1$  и  $G_2$  – коэффициенты усиления передающей и приёмной антенн;

$\alpha_1 l_1$  – затухание, вносимое фидером стационарной радиостанции, дБ;

где  $\alpha_1$  – постоянная затухания фидера, дБ/м;  $l_1$  – длина фидера, м; выбирается ориентировочно, исходя из мест установки антенны и радиостанции; в среднем  $l_1 = 25\text{-}30$  м;

$\alpha_2 l_2$  – затухание, вносимое фидером приемного устройства, дБ;

где  $\alpha_2$  – постоянная затухания фидера; дБ/м;  $l_2$  – длина фидера, м;

$K_3$  – коэффициент экранирования, учитывает ослабление напряженности поля, вызванное влиянием металлической крыши и наличием в месте расположения возимой антенны различного оборудования;

$g_2$  – коэффициент преобразования напряженности поля высокочастотного сигнала в напряжение в точке соединения приемной антенны с фидером, который равен 10 дБ для фидера с волновым сопротивлением 75 Ом и 12дБ для фидера с волновым сопротивлением 50 Ом;

$K_{kc}$  – коэффициент ослабления напряженности поля контактной сетью; для однопутного участка  $K_{kc} = 1$  дБ, для двухпутного  $K_{kc} = 2$  дБ;

Значения  $K_u$ ,  $K_g$  и  $K_m$  для других вероятностных уровней представлены в виде кривых на рисунках4 и 5 соответственно (на рисунке 4 кривая 1 для

электрифицированных, кривая 2 – для не электрифицированных участков; на рисунке 5 номера кривых соответствуют типу трассы).

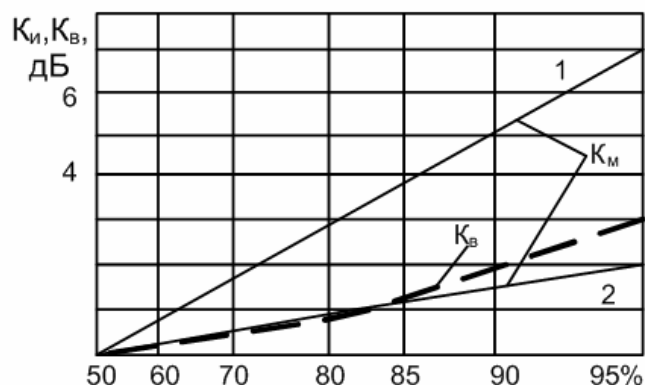


Рисунок 4 – Зависимость коэффициентов  $K_u$ ,  $K_e$  от вероятностных уровней

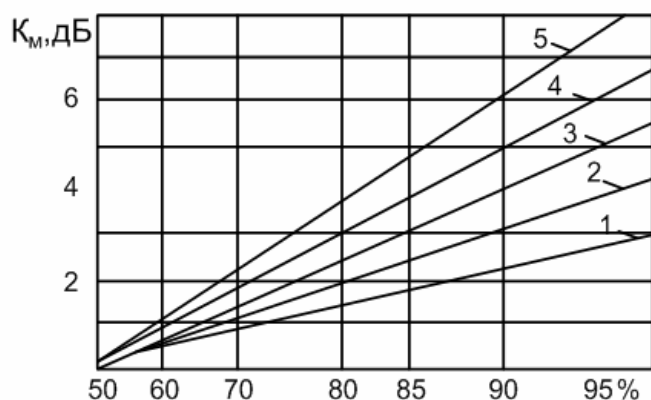


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента  $K_m$

Коэффициент  $K_e$  учитывает колебания напряженности поля (суточные и сезонные) из-за изменения рефракции в тропосфере. В расчетах значения этих коэффициентов берутся на вероятностном уровне 90% с тем, чтобы обеспечить качества связи не хуже удовлетворительного. Значения  $K_m$  приведены в таблице 2. При этом  $K_e = 1,8$  дБ;  $K_u = 5$  дБ; для электрифицированных  $K_u = 1,5$  дБ для неэлектрифицированных участков. Значения  $K_m$  приведены ниже.

Таблица 2 – Зависимость коэффициента  $K_m$  от коэффициента сложности трассы

Тип трассы	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
$K_m$ , дБ	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6

По полученным данным уровня чувствительности и уровня напряженности поля строится график дальности связи, представленный на рисунке 6.

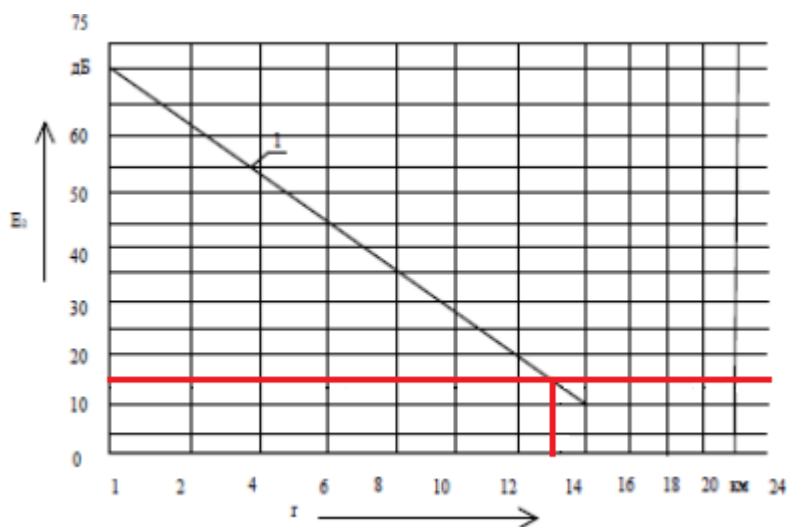


Рисунок 6 – Кривая затухания напряженности поля радиосигнала

Для определения требуемого уровня изоляции входных цепей приемника от антенных цепей передатчика ретранслятора, необходимы следующие параметры:

1) разность частот приёма и передачи – определяется из частотно-территориального плана:

$$\Delta F = F_{TX} - F_{RX}, \quad (4)$$

2) мощность передатчика, чувствительность приёмника – определяется из тактико-технических характеристик передатчика.

Для подтверждения работоспособности системы были проведены пробные включения системы оперативной цифровой радиосвязи. По итогам проведения пробных включений СОЦР установлено, что:

1) система обеспечивает взаимодействие абонентов путем переключения локомотивные и портативные радиостанции на соответствующие канал;

2) диспетчерские маневровых районов принимают все вызовы и прослушивают все переговоры, ведущиеся на территории Предприятия;

3) все диспетчерские рабочие места настроены для работы с любыми группировками остальных диспетчеров, радиоабонентов и с абонентами КТС;

4) система обеспечивает регистрацию всех переговоров, ведущихся в эфире, с адресной привязкой к абонентам и времени разговора;

5) система обеспечивает координатную привязку к месту нахождения радиоабонентов;

6) подсистема мониторинга доступна с любого диспетчерского рабочего места.

Вместе с тем был выявлен ряд проблем допущенных абонентами радиосети. К ним относятся:

- неумение корректно работать в сетях радиосвязи;
- несоблюдение регламента работы в радиосети;
- неумение работать с оборудованием радиосвязи данного типа.

Для устранения данных проблем была разработана инструкция по работе с абонентскими радиостанциями локомотивно-составительской бригады системы оперативной цифровой радиосвязи цеха 900 (представлена в приложении Д).

В заключении приведены основные выводы по организации частотно-территориального планирования, как неотъемлемой части экспертизы электромагнитной совместимости о возможности использования заявленных РЭС для дальнейшей процедуры получения разрешений на использование радиочастот или радиочастотных каналов в соответствии с требованиями ГКРЧ.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе выполнения диссертации были решены следующие задачи:

1 охарактеризована система оперативной цифровой радиосвязи для дальнейшей разработки и верификации оптимальной модели;

2 выявлены особенности управления маневровыми работами на основе системы оперативной цифровой радиосвязи;

3 разработаны рекомендации по управлению маневровыми работами на основе системы оперативной цифровой радиосвязи;

4 описаны результаты апробации модели системы оперативной цифровой радиосвязи в процессе производства маневровых работ железнодорожного цеха.

Анализ и оценка особенностей управления маневровыми работами на основе СОЦР выявили необходимые требования и характеристики, для дальнейшей разработки и верификации оптимальной модели.

В соответствии с Федеральным законом о Связи были подробно представлены рекомендации по получению разрешительных документов на использование радиочастот или радиочастотных каналов, а так же специальных свидетельств о регистрации РЭС в органах исполнительной власти.

Методические рекомендации по расчету частотно-территориального планирования показали возможность их применения в ходе проектирования и строительства систем. Данные теоретических расчетов были подтверждены в ходе проведения мероприятий по измерению технических параметров радиоэлектронных средств связи.

В ходе апробации модели системы оперативной цифровой радиосвязи было установлено, что на эффективную работу системы оказывает влияние человеческий фактор, связанный с недостаточной компетенцией участников маневровых работ в сфере использования современных средств цифровой радиосвязи.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1 Уткин К.Б. Математическое моделирование определения местоположения радиоэлектронных средств связи (РЭС) цифровых стандартов в закрытых помещениях / К.Б. Уткин // Студенческий вестник. – 2020. № 38 (136).– Ч.3. С. 18–21.

2 Уткин К.Б. Методы позиционирования радиоэлектронных средств связи (РЭС) стандарта DMR (Digital Mobile Radio) внутри производственных площадей промышленного предприятия / К.Б. Уткин // Сборник материалов всероссийской научно-практической конференции.– Екатеринбург: УрТИСИ СибГУТИ, 2020.С. 58–61.

3 Уткин К.Б. Методы позиционирования радиоэлектронных средств связи (РЭС) стандарта DMR (Digital Mobile Radio) внутри производственных площадей промышленного предприятия. / К.Б. Уткин // Сборник материалов всероссийской научно-практической конференции. – Самара: ПГУТИ, 2020.