

Міністерство освіти і науки України

Український державний університет залізничного транспорту

ЄЛІЗАРЕНКО АНДРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 621.391

**МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ НАДІЙНОСТІ КАНАЛІВ
РУХОМОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ
ВПЛИВУ ІНФРАСТРУКТУРИ ЗАЛІЗНИЦЬ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2015

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українському державному університеті залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор фізико – математичних наук, професор
Горобець Микола Миколайович,
Харківський національний університет ім. В.Н.
Каразіна, завідувач кафедри прикладної
електродинаміки.

Офіційні опоненти : доктор технічних наук, професор
Козелков Сергій Вікторович,
Державний університет телекомунікацій,
директор навчально – наукового інституту
телекомунікацій та інформатизації;

кандидат технічних наук, доцент
Сєверінов Олександр Васильович,
Харківський університет Повітряних сил імені
Івана Кожедуба, начальник центру – старший
науковий співробітник інформаційно-
обчислювального центру

Захист відбудеться «__» _____ 2015 року о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.01 при Українському державному університеті залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий «__» _____ 2015 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

К.А. Трубчанінова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Системи рухомого радіозв'язку на залізничному транспорті відіграють виключно важливу роль в підвищенні безпеки руху поїздів, поліпшенні оперативного управління перевізним процесом. Радіозв'язок з рухомими об'єктами широко застосовується в усіх технологічних ланках роботи залізничного транспорту як станційний, поїзний та ремонтно-оперативний. Існуючі аналогові мережі технологічного радіозв'язку працюють в гектометровому (2,13 МГц) і в метровому діапазоні радіохвиль в смугах частот 150 МГц. Такі системи не повною мірою задовольняють сучасні вимоги.

Подальший розвиток систем технологічного радіозв'язку на залізничному транспорті пов'язаний з впровадженням сучасних транкінгових і стільникових цифрових мереж, освоєнням нових діапазонів радіохвиль в смузі частот 450 та 900 МГц відповідно до міжнародних рекомендацій ITU-R. Застосування сучасних цифрових систем дозволить суттєво розширити функціональні можливості радіомереж, збільшити обсяги передачі даних для задач автоматичного керування рухомими об'єктами та інтервального регулювання руху поїздів. Впровадження сучасних технічних засобів, які забезпечують більш високу апаратну надійність і якість передачі інформації вимагає розробки відповідних заходів з забезпечення необхідної надійності радіомереж саме на етапах організації, проектування і експлуатації радіоканалів.

Найбільш важливою задачею на цей час є підвищення надійності прогнозування рівнів сигналів при розрахунках зон обслуговування в процесі проектування радіомереж. Основою точного прогнозування характеристик радіомереж при проектуванні є застосування адекватної моделі поширення радіохвиль в умовах організації мереж рухомого радіозв'язку на залізницях.

Впродовж тривалого часу фахівцями різних країн досліджувались та розроблялись моделі поширення радіохвиль ультракороткохвильових діапазонів та методи розрахунку енергетичних характеристик, починаючи з піонерів цієї справи Б.А. Введенського, М.А. Колосова, Я.С. Шифріна, Ф.Б. Чорного, А.Г. Аренберга, В.А. Фока, М.П. Долуханова, А.І. Калініна, які виконали фундаментальні дослідження. Специфічні особливості поширення радіохвиль в системах зв'язку з рухомими об'єктами в умовах міст досліджували У.К. Джейнс, К. Уїльям Лі, Й. Окамура, М. Хата. Питаннями проектування мереж рухомого радіозв'язку на залізницях в різні періоди займались П.Н. Рамлау, Ю.В. Ваванов, А.М. Веріго, Е.С. Головін та інші.

Системи технологічного радіозв'язку діють безпосередньо на території залізничних станцій і вузлів. Використання методик розрахунку мереж рухомого радіозв'язку загального користування не забезпечує необхідної точності проектних розрахунків мереж технологічного радіозв'язку на залізницях, що пов'язано з особливостями поширення радіохвиль в умовах впливу інфраструктури залізничного транспорту.

Чинні відомчі нормативні документи не передбачають розрахунок каналів в перспективних для залізниць діапазонах 450 і 900 МГц. Графоаналітичні методи розрахунку ускладнюють автоматизацію процедур і точність визначення параметрів. В теперішній час не вирішені питання організації каналів ультракороткохвильових діапазонів в тунелях залізниць.

Таким чином, актуальною задачею забезпечення необхідної надійності каналів залізничного рухомого радіозв'язку є розробка аналітичних моделей поширення радіохвиль, які б забезпечували більш високу точність прогнозування зон обслуговування і автоматизацію процедур розрахунку на відкритій місцевості і в тунелях. Актуальним залишається питання удосконалення організації експлуатаційного контролю і моніторингу радіомереж.

Дослідження розглянутих питань складає основу дисертаційної роботи, що визначає її актуальність.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційні дослідження пов'язані із завданнями, які передбачені у наступних програмних державних документах:

1. Концепція розвитку телекомунікацій в Україні. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 7 червня 2006 р. № 316-р;

2. Концепції створення Державної інтегрованої інформаційної системи забезпечення управління рухомими об'єктами (зв'язок, навігація, спостереження), схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17 липня 2003р. №410-р.

3. Державна Цільова Програма реформування залізничного транспорту на 2010-2019 року, затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009р. № 1390;

4. Концепція Державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 31 грудня 2004р. № 979-р.

Дисертаційна робота пов'язана з виконанням науково-дослідних робіт, які проводились в Українському державному університеті залізничного транспорту:

- «Дослідження та визначення методів та засобів радіомоніторингу на залізницях України» (ДР № 0107U007062);

- «Дослідження існуючих систем технологічного радіозв'язку та технічно-економічне обґрунтування їх модернізації для умов швидкісного руху» (ДР № 0209U 008271);

- «Дослідження існуючих систем дуплексного радіозв'язку з метою визначення системи, прийнятної для впровадження на залізничному транспорті України» (ДР № 0109U001518);

- «Правила організації та розрахунку мереж поїзного радіозв'язку» (ДР № 0107U007063).

В зазначених науково-дослідних темах, у яких дисертант був безпосереднім виконавцем, йому належить визначення характеристик

поширення сигналів в системах рухомого радіозв'язку на залізничному транспорті, а також розробка нових моделей і методів розрахунку каналів.

Мета та задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є підвищення надійності каналів залізничного технологічного радіозв'язку на етапі проектування і експлуатації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити сформульовану в роботі загальну науково – технічну задачу дисертації. **Науково – технічна задача дисертації** – удосконалення методів розрахунку енергетичних характеристик каналів рухомого радіозв'язку у нових діапазонах радіохвиль із заданою надійністю в умовах перегонів і тунелів залізниць та створення математичної моделі багатодіапазонних комплексованих антен для дубльованих систем радіозв'язку.

У свою чергу, для вирішення загальної науково – технічної задачі дисертації необхідно вирішити наступні частинні наукові задачі досліджень:

1. Аналіз основних моделей поширення радіохвиль та визначення умов та меж їх застосування в умовах залізниць.

2. Удосконалення статистичної моделі поширення радіохвиль в каналах рухомого радіозв'язку в умовах впливу інфраструктури залізниць.

3. Розвинути метод розрахунку каналів технологічного радіозв'язку, який забезпечує частотну та технологічну універсальність та автоматизацію процедур розрахунку.

4. Розробити математичну модель багатодіапазонних комплексованих антен, які забезпечують однакову ширину головної пелюстки діаграми спрямованості для дубльованих мереж.

5. Розробити методіку розрахунку із заданою надійністю каналів з випромінюючим кабелем у тунелях залізниць.

6. Розробити структуру та алгоритми автоматизації роботи вимірювального комплексу радіомоніторингу мереж рухомого радіозв'язку.

Об'єкт досліджень – процеси проектування, розрахунку і організації експлуатаційного контролю мереж технологічного радіозв'язку з рухомими об'єктами на залізничному транспорті.

Предмет досліджень – методи забезпечення необхідної надійності каналів технологічного радіозв'язку з рухомими об'єктами в умовах впливу інфраструктури залізниць на етапах проектування і експлуатації.

Методи досліджень: методи теорії поширення радіохвиль; теорії ймовірностей та випадкових процесів; методи технічної електродинаміки. При розробці удосконаленої статистичної моделі поширення радіохвиль та методу розрахунку каналів рухомого радіозв'язку використовувались елементи теорії поширення радіохвиль і теорії ймовірностей та випадкових процесів. При розробці математичної моделі багатодіапазонних комплексованих антен використовувались методи технічної електродинаміки.

Для підтвердження достовірності теоретичних розробок проведено комп'ютерне моделювання та експериментальні дослідження (натурні вимірювання рівнів сигналів на відкритій місцевості і в тунелях).

Наукова новизна отриманих результатів.

1. **Удосконалена** статистична модель поширення радіохвиль в каналах рухомого радіозв'язку, яка відрізняється від відомих тим, що найбільш повно враховує фактори, які визначають рівні сигналів в умовах впливу інфраструктури залізниць та забезпечує підвищення точності прогнозування.

2. **Отримав подальший розвиток** метод розрахунку каналів рухомого залізничного технологічного радіозв'язку, який на відміну від існуючих забезпечує технологічну і частотну універсальність, а аналітична форма розрахунків спрощує процедури автоматизації та забезпечує підвищення надійності прогнозування.

3. **Вперше розроблена** математична модель багатодіапазонних комплексованих антен на основі вкладених лінійних, конічних та пірамідальних випромінювачів, які забезпечують однакову ширину головної пелюстки діаграми спрямованості.

Практичне значення отриманих результатів досліджень полягає в наступному.

1. Використання запропонованої моделі підвищує точність визначення енергетичних характеристик радіоканалів на 8-11 дБ на станціях і перегонах залізниць порівняно з рекомендаціями Міжнародного союзу залізниць.

2. Розроблена методика розрахунку дальності дії каналів з випромінюючим кабелем у тунелях залізниць та схеми організації дводіапазонних мереж поїзного радіозв'язку в тунелях довжиною до 2 км.

3. Рекомендації з організації і розрахунку каналів технологічного радіозв'язку з використанням випромінюючого кабелю у тунелях внесені в розроблені «Правила організації та розрахунку мереж поїзного радіозв'язку», затверджених Наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 09.06.2009 р. № 340-Ц.

4. Розроблена структура та алгоритми автоматизації роботи вимірювального комплексу радіомоніторингу каналів рухомого радіозв'язку.

Результати наукових досліджень впроваджено у науково-дослідних роботах, які виконувались в Українському державному університеті залізничного транспорту та в навчальному процесі кафедри транспортного зв'язку, що підтверджено відповідними актами реалізації.

Особистий внесок автора. Отримані наукові результати забезпечують вирішення поставлених у дисертації частинних задач досліджень. Всі результати, представлені в роботі, отримані автором особисто в ході проведених досліджень. Роботи [1,7,8,9] без співавторів. У друкованих працях, опублікованих як у співавторстві, так і одноосібно дисертантові належать: розробка удосконаленої статистичної моделі для розрахунку каналів рухомого радіозв'язку [9]; розробка методу розрахунку дальності дії каналів рухомого радіозв'язку [7]; при розробці математичної моделі комплексованих багатодіапазонних антен особисто виконано розрахунки при числовому математичному моделюванні діаграм спрямованості багатодіапазонних комплексованих антен, аналіз та розробка рекомендацій з застосування антен в мережах залізничного технологічного радіозв'язку

[3,4,5,6]; дослідження та розробка методів розрахунку каналів з випромінюючим кабелем у тунелях залізниць [1,8]; при експериментальній перевірці параметрів мереж GSM в умовах залізниць особисто виконано постановка задачі досліджень і узагальнення отриманих результатів [2].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідались на наступних науково – технічних конференціях:

- 14 Міжнародна школа – семінар з перспективних систем управління (Алушта, 2001);

- 19 Міжнародна науково – практична конференція «Перспективні системи управління на залізничному, промисловому і міському транспорті» (Алушта, 2006 р.);

- 21 Міжнародна науково – практична конференція «Перспективні комп'ютерні, керуючі й телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України» (Алушта, 2008 р.);

- 24 Міжнародна науково – практична конференція «Перспективні комп'ютерні, керуючі й телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України» (Алушта, 2011 р.);

- 26 Міжнародна науково – практична конференція «Впровадження перспективних мікропроцесорних систем залізничної автоматики і засобів телекомунікацій на базі цифровізації» (Алушта, 2013 р.);

- 76 Міжнародна науково – технічна конференція «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 2014 р.);

- 4 Міжнародна науково – практична конференція «Інфокомунікації – сучасність і майбутнє» (Одеса, 2014 р.).

- 77 Міжнародна науково – технічна конференція «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 2015 р.).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи викладені у 17 друкованих роботах, зокрема 4 статті у наукових журналах [5,7-9], одна з яких у виданні, що входить до міжнародної наукометричної бази Scopus [5], три – до індексу наукового цитування РІНЦ [7-9], 5 статей у збірниках наукових праць [1-4,6], а також 8 тезах доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків по роботі, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 159 сторінок, у тому числі: основний текст на 136 сторінках, перелік використаних джерел із 140 найменувань на 14 сторінках, 3 додатків на 9 сторінках. Дисертація написана українською мовою.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність, визначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, сформульовані мета і завдання дослідження, представлені наукова новизна, практичне значення та впровадження отриманих результатів, а також особистий внесок здобувача, апробації та публікації результатів дисертації.

Перший розділ присвячений аналізу існуючих систем технологічного радіозв'язку з рухомими об'єктами на залізничному транспорті, оцінці сучасного стану і визначенню основних напрямків розвитку та проблем, які в зв'язку з цим виникають.

Хоча остаточний вибір конкретних технологій радіозасобів на залізницях України не здійснений, але їх впровадження буде пов'язано з використанням радіохвиль дециметрового діапазону в нових смугах частот 450 та 900 МГц відповідно до міжнародних рекомендацій ІТУ-R. В зв'язку з цим актуальною проблемою стає створення відповідної нормативно – технічної бази з проектування і розрахунку каналів та забезпечення необхідної надійності радіомереж в умовах впливу інфраструктури залізниць.

Технологічний радіозв'язок, як відповідальна система спеціального призначення, повинен забезпечити високу надійність каналів зв'язку в будь – яких умовах функціонування. Надійність системи передачі інформації розглядають як властивість зберігати в часі в установлених межах значення всіх параметрів, які визначають здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах і умовах застосування і технічного обслуговування.

Імовірність безвідмовної роботи каналу радіозв'язку P_k , яка є комплексним показником надійності, визначимо як

$$P_k = 1 - (1 - P_{\delta\zeta} \cdot D_{\delta\eta})^k, \quad (1)$$

де $D_{\delta\zeta}$ – імовірність безвідмовної роботи технічних засобів, при прийнятій системі технічної експлуатації; $D_{\delta\eta}$ – вірогідність забезпечення необхідного рівня сигналу; k – кратність резервування використовуваних технічних засобів, які застосовують при недостатній надійності одного радіоканалу.

Перша складова визначає надійність технічних засобів в широкому сенсі: передавальних та приймальних пристроїв, засобів модуляції і завадостійкого кодування та ін. Підвищення надійності в цьому сегменті є окремою проблемою, яка має вирішуватися на етапі розробки і виробництва радіозасобів. Впровадження сучасних технічних засобів забезпечує підвищення апаратної надійності. Важливим і ефективним засобом забезпечення необхідної надійності і якості функціонування радіомереж є удосконалення методів експлуатаційного контролю і моніторингу радіомереж з автоматизацією вимірювання параметрів радіоканалів.

Друга складова визначає надійність забезпечення стійкої роботи каналів рухомого радіозв'язку в складних умовах багатопроменевої інтерференційної структури поля, що викликає глибокі просторові флуктуації. Для створення науково обгрунтованих методів розрахунку енергетичних характеристик каналів із заданою надійністю необхідні теоретичні і експериментальні дослідження поширення радіохвиль в нових діапазонах частот в умовах впливу інфраструктури залізниць.

В теперішній час не вирішені питання організації мереж ультракороткохвильових діапазонів в тунелях залізниць. Проектування і

впровадження таких систем потребує дослідження характеристик сигналів в каналах з випромінюючими кабелями в тунелях.

Робота залізничного транспорту пов'язана з підвищеною небезпекою і відповідальністю. В таких умовах необхідно дослідження можливостей створення дводіпазонних антен УКХ діапазону з однаковими робочими зонами обслуговування для дубльованих систем поїзного радіозв'язку.

Розглянуті заходи дозволяють забезпечити необхідну надійності функціонування радіомереж на етапах проектування і впровадження. На підставі викладеного обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи та визначені задачі досліджень.

В другому розділі виконані експериментальні дослідження енергетичних характеристик каналів рухомого технологічного радіозв'язку та запропонована удосконалена статистична модель розрахунку в умовах впливу інфраструктури залізниць.

Проведений аналіз показав, що відомі моделі не враховують специфіку поширення радіохвиль в умовах впливу інфраструктури залізниць. Підвищення надійності прогнозування енергетичних характеристик каналів в умовах впливу інфраструктури залізниць може бути досягнуто при використанні моделей з експериментально визначеними параметрами.

Розглянуто особливості інфраструктури залізниць на станціях і перегонах та визначені фактори їх впливу на умови поширення радіохвиль. На залізничних станціях в зоні між передавальною і приймальною антеною знаходиться багато перешкод складної конфігурації: опори, ферми, елементи контактної мережі, рухомий склад, шляхопроводи, службові будівлі та інші споруди. В результаті екранування істотної області при поширенні радіохвиль перешкодами і розсіювання енергії електромагнітної хвилі значення напруженості поля в точці прийому менше ніж при поширенні на відкритій місцевості за інших однакових умов. Перешкоди на трасах поширення радіохвиль є ефективними перевипромінювачами електромагнітної енергії, що визначає багатопроменевий характер радіоканалу і інтерференційну структуру поля. При переміщенні рухомих об'єктів в каналі виникають глибокі просторові флуктуації напруженості поля, які можна розглядати як випадковий процес.

Об'єкти на трасах поширення радіохвиль перевипромінюють значні поля, поляризація яких відрізняється від основної компоненти, створюємою передавальною антеною, таким чином виникає деполаризація плоско поляризованих хвиль.

Поле в точці прийому можна розглядати як суму декількох складових. Основна компоненти E_1 , яка відповідає поляризації поля передавальної антени, складається із регулярної компоненти E_0 та численних перевипромінених полів цієї ж поляризації E_i . Неосновна компонента іншої поляризації E_2 створюється сумою перевипромінених полів. Таким чином,

$$E_1 = E_0 \cos \omega t + \sum_{i=1}^n E_i \sin \theta_i \cos(\omega t + \Delta \varphi), \quad (2)$$

$$E_2 = \sum_{i=1}^n E_i \cos \theta_i \cos \varphi_i \cos(\omega t + \Delta \varphi), \quad (3)$$

де E_0 - регулярна компонента напруженості поля; $\sum_{i=1}^n E_i$ - сума перевипромінених хвиль вертикальної поляризації.

Результуюче електричне поле буде еліптично поляризованим.

В таких умовах ортогональні проекції сумарного вектора перевипромінених полів \bar{E}_s будуть розподілені по нормальному закону. На цій підставі можна обґрунтовано вважати, що амплітуда результуючого вектора перевипромінених полів розподілена по закону Релея

$$W(E) = \frac{2 \cdot E}{E_s^2} \exp\left(-\frac{E^2}{E_s^2}\right). \quad (4)$$

У випадку інтерференції хвиль постійної амплітуди і фази (регулярна компонента напруженості поля основної поляризації) з сукупністю n коливань з довільними амплітудами і фазами (перевипромінені поля) щільність розподілу ймовірностей амплітуд напруженості поля у цьому випадку описується узагальненим законом Релея або законом Релея - Райса

$$W(E) = \int_0^{2\pi} W(E, \varphi) d\varphi = \frac{2 \cdot E}{E_s^2} \exp\left(-\frac{E^2 + E_0^2}{E_s^2}\right) J_0\left(\frac{2 \cdot E \cdot E_0}{E_s^2}\right). \quad (5)$$

Такі процеси, які виникають внаслідок багатопроменевого поширення радіохвиль, називають швидкими флуктуаціями. Їх характеристики цілком визначаються особливостями перевипромінювання полів внаслідок впливу інфраструктури залізниць. В каналах рухомого радіозв'язку необхідно враховувати і так звані повільні флуктуації. Повільні просторові і часові флуктуації напруженості поля визначаються загальними змінами рельєфу місцевості і градієнта діелектричної проникності атмосфери і практично не залежать від впливу інфраструктури залізниць. Характеристики таких змін напруженості поля можна визначити за загальними рекомендаціями ІТУ – R з прогнозування поширення радіохвиль на наземних трасах. Характеристики швидких інтерференційних завмирань визначаються особливостями впливу інфраструктури залізниць і вимагають спеціальних експериментальних досліджень.

Процес флуктуацій напруженості поля сигналів на відносно короткому інтервалі спостережень можна вважати стаціонарним ергодичним випадковим процесом. За такої умови оцінки середнього значення напруженості поля m_E і дисперсію D_E , можна визначити по одній конкретній реалізації процесу $E(l)$ на заданому інтервалі аналізу шляхом статистичної обробки окремих дискретних значень. Для некорельованої дискретної виборки можна наближено визначити необхідний обсяг виборки дискретних значень виходячи з допустимої похибки при визначенні статистичних оцінок досліджуваних параметрів. Для довірчої імовірності 0,9 похибка 10% досягається при числі вимірів $N > 100$. Але при більшому обсязі вимірювань,

за умови збереження стаціонарності процесу, можна досягти більшої точності статистичних оцінок.

В роботі проведені експериментальні дослідження поширення радіохвиль в нових для залізничного транспорту смугах частот 450 і 900 МГц. На рисунку 1 за результатами статистичної обробки вимірів побудовані криві залежності середніх значень напруженості поля від відстані для типових умов станцій (крива 1) і перегонів (крива 2) на не електрифікованих ділянках залізниць. Криві 3, 4, 5, розраховані за моделлю Окамури – Хата для різних умов поширення радіохвиль.

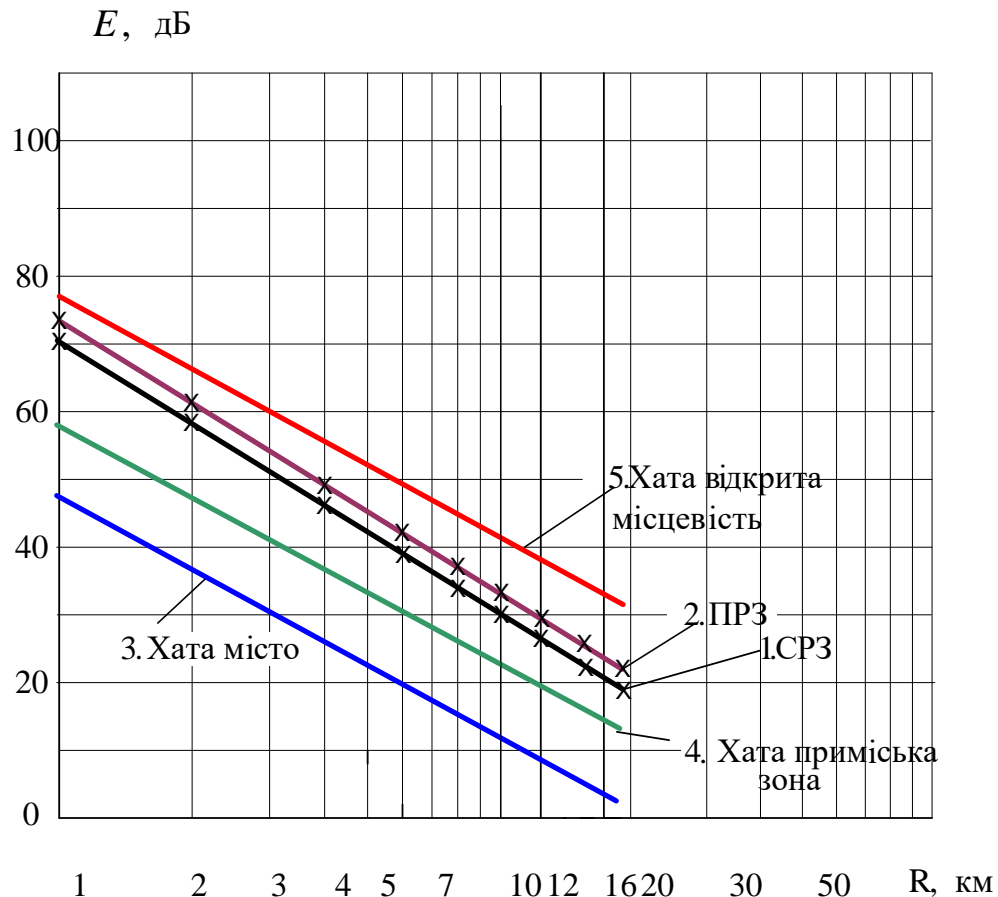


Рис. 1. Залежність напруженості поля від відстані для різних моделей поширення радіохвиль

Всі криві побудовані для однакових умов передачі на частоті 900 МГц – при потужності передавача 1 Вт і використанні напівхвильового вібратора в якості антени, висот установки антен стаціонарної $h_1=20$ м і антени приймальної (локомотивної) радіостанції $h_2=5$ м.

Визначені апроксимації кривих 1 і 2 для перегонів (формула 6) і станцій (формула 7) на основі модифікованої моделі Окамури – Хата:

$$E_{iD\tilde{N}} = 79,25 - 26,05 \cdot \lg f + 13,82 \cdot \lg h_1 + (1,1 \cdot \lg f - 0,7) \cdot h_2 - (44,9 - 6,55 \cdot \lg h_1) \cdot \lg R^{1,15} + 4,78 \cdot (\lg f)^2 \quad (6)$$

$$E_{\tilde{N}D\zeta} = 57,01 - 7,22 \cdot \lg f + 13,82 \cdot \lg h_1 + (1,1 \cdot \lg f - 0,7) \cdot h_2 - (44,9 - 6,55 \cdot \lg h_1) \cdot \lg R^{1,15} + 2 \cdot \left(\lg\left(\frac{f}{28}\right)\right)^2 \quad (7)$$

де f - робоча частота, МГц; R - дальність зв'язку, км.

Результати досліджень підтвердили частотну універсальність запропонованої моделі

Вести розрахунки енергетичних характеристик каналів зручніше на основі значень втрат сигналів. В роботі визначені відповідні формули для розрахунку основних втрат потужності сигналів для умов поширення радіохвиль на станціях $L_{\text{мі.нд}}$ і перегонах $L_{\text{мі.ід}}$:

$$L_{\text{мі.нд}} = 52,35 + 27,22 \cdot \lg f - 13,82 \cdot \lg(h_1) - (1,1 \cdot \lg(f) - 0,7) \cdot h_2 + (44,9 - 6,55 \cdot \lg h_1) \cdot \lg R^{1,15} - 2 \cdot (\lg(\frac{f}{28}))^2, \text{дБ}; \quad (8)$$

$$L_{\text{мі.ід}} = 30,11 + 46,05 \cdot \lg f - 13,82 \cdot \lg(h_1) - (1,1 \cdot \lg(f) - 0,7) \cdot h_2 + (44,9 - 6,55 \cdot \lg(h_1)) \cdot \lg R^{1,15} - 4,78(\lg(f))^2, \text{дБ}. \quad (9)$$

Такий підхід зручніший для автоматизації розрахунків, оскільки замість базових кривих поширення радіохвиль використовуються емпіричні рівняння, універсальні для різних діапазонів частот і висот установки антен радіостанцій.

Особливості конкретних трас: рельєф місцевості, вплив рефракційних змін, вплив лісових насаджень, електрифікація можуть бути враховані окремими додатковими показниками відповідно до рекомендацій ІТУ-R та відомчих документів.

Надійність радіозв'язку по полю $p, \%$ характеризують, як відсоток точок прийому, в яких просторово флюктууючий сигнал перевищує мінімально необхідний рівень прийому в межах відносно короткого відрізка шляху на максимальній заданій відстані.

Інтегральні функції розподілу флюктуацій амплітуд напруженості поля дозволяють визначити імовірність перевищення певних рівнів сигналів і таким чином проводити розрахунки каналів із необхідною надійністю по полю.

В роботі визначені експериментальні функції розподілу амплітуд для різних умов організації каналів радіозв'язку. Для забезпечення надійності радіоканалів 90% за інтерференційними флюктуаціями необхідна поправка складає $V_s = 1,3$ дБ для перегонів, а на станціях – $V_s = 3,5$ дБ для неелектрифікованих ділянок залізниць. На електрифікованих ділянках залізниць глибина інтерференційних флюктуацій на перегонах і станціях відрізняється не суттєво, а необхідна поправка складає $V_s = 5,0 - 5,5$ дБ.

За результатами експерименту розподіл значень напруженості поля основної компоненти не суперечить моделі Релея – Райса, а глибина флюктуацій залежить від співвідношення потужності регулярної компоненти сигналу і середньої потужності перевипромінених радіохвиль. При вертикальній поляризації поля передавальної антени напруженість перевипромінених полів горизонтальної поляризації на електрифікованих залізничних станціях в середньому на 5,1 – 5,8 дБ менше відповідних основних компонент. На перегонах залізниць перевипромінені поля мають меншу інтенсивність. За знайденими середніми значеннями напруженості

поля поляризаційних компонент визначені середні значення поляризаційних параметрів еліптично поляризованої хвилі для різних умов поширення радіохвиль.

Таким чином, на основі виконаних досліджень запропонована удосконалена статистична модель для розрахунку енергетичних характеристик каналів рухомого радіозв'язку в умовах впливу інфраструктури залізниць із необхідною надійністю.

У третьому розділі досліджені статистичні характеристики каналів з випромінюючим кабелем та розроблена методика розрахунку мереж рухомого технологічного радіозв'язку в тунелях залізниць.

Відповідно до вимог чинних правил усі ділянки залізниць повинні бути обладнані системами поїзного технологічного радіозв'язку, які працюють у гектометровому і метровому діапазонах радіохвиль. Але в теперішній час у тунелях залізниць організовані тільки мережі гектометрового діапазону з використанням двопровідних направляючих ліній. Це обмежує функціональні можливості радіомереж і надійність зв'язку та не відповідає вимогам будівельних норм і правил з облаштування залізничних тунелів.

Ефективною направляючою системою для організації ультракороткохвильового радіозв'язку в тунелях і підземних спорудах є випромінюючі кабелі. Проведено аналіз конструктивно-технологічних і електричних характеристик випромінюючих кабелів різних типів найбільш відомих світових виробників. Фірми – виробники випромінюючих кабелів наводять паспортні характеристики коефіцієнта позовжнього (погонного) згасання $\alpha_{\text{вк}}$ дБ/км і втрат на зв'язок (перехідного згасання) A дБ для певних типових умов вимірювання при підвісці кабелю на діелектричних опорах на висоті 2 м від землі і будь-яких провідних поверхонь відповідно до рекомендації Міжнародного електротехнічного комітету ІЕС 1196-4. Коефіцієнт згасання $\alpha_{\text{вк}}$ залежить від конструктивних розмірів кабелю і зростає при збільшенні частоти. Залежність перехідного згасання від частоти незначна. Параметри різних типів кабелів відрізняються не суттєво. Перехідне згасання має значну величину і забезпечує дозування випромінювання. В реальних умовах прокладання випромінюючих кабелів в тунелях, їх параметри істотно залежать від умов прокладання в тунелі і впливу оточуючого середовища.

Для проектування мереж радіозв'язку з випромінюючими кабелями в тунелях залізниць необхідно знати основні характеристики передачі і випромінювання кабелів в реальних умовах прокладання при організації радіомереж і розробити методику розрахунку енергетичних характеристик радіоканалів з необхідною надійністю.

Експериментальні дослідження параметрів випромінюючого кабелю в реальних умовах експлуатації є складною організаційно - технічною задачею, можливості якої суттєво обмежені виробничими умовами. В роботі одержані експериментальні матеріали, що узагальнюють результати досліджень частотних характеристик згасання кабелів типу РИ-50-17-31 ТУ 16.К76-137-97, виконаних за участю автора на різних етапах впровадження

випромінюючих кабелів в Харківському метрополітені. Вимірювання проводились при укладанні випромінюючого кабелю в тунелі на типових металевих кабельних кронштейнах, що значно спрощує виконання монтажних робіт і знижує їх вартість.

На рисунку 2 (крива 1) приведена частотна характеристика коефіцієнта згасання випромінюючого кабелю, яка побудована за паспортними даними для умов, наближених до вільного простору, в смугах частот 50-450 МГц. Параметри випромінюючих кабелів в гектометровому діапазоні не нормуються і були не відомі. Але вони мають важливе практичне значення при використанні випромінюючих кабелів в якості спільної направляючої системи в каналах гектометрового і ультракороткохвильового діапазонів в тунелях залізниць. Крива 2 побудована за результатами експериментальних досліджень в прийнятих умовах прокладання в смугах частот 2 - 450 МГц.

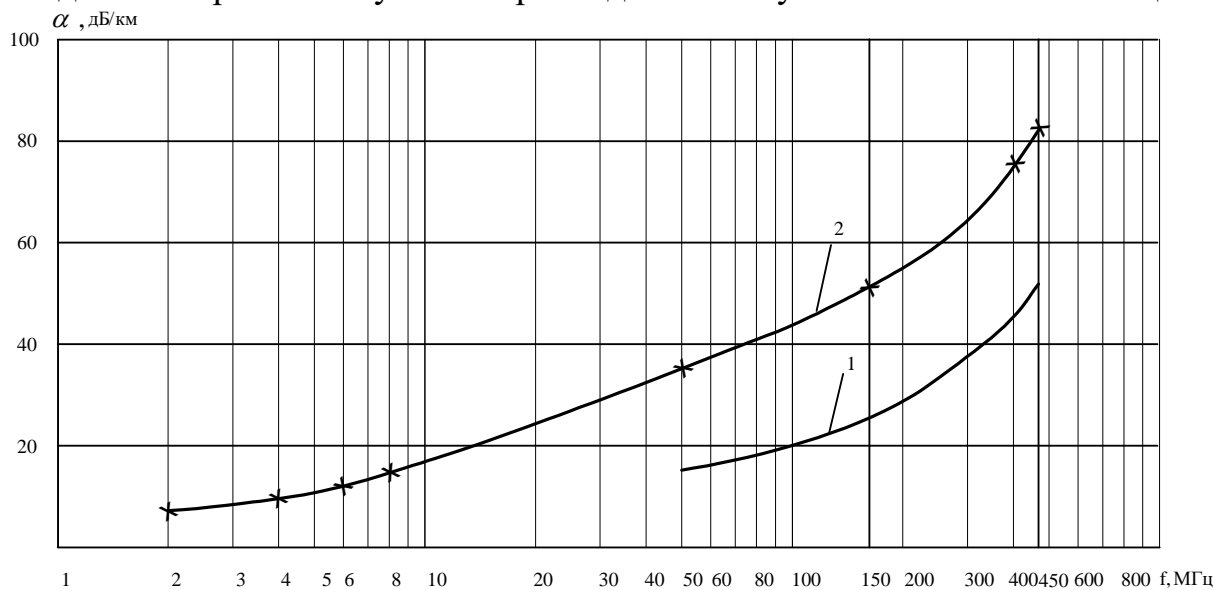


Рис. 2. Частотні характеристики коефіцієнта згасання випромінюючого кабелю

За результатами досліджень коефіцієнт згасання випромінюючого кабелю в тунелі складає величину не більше $\alpha_{\text{вк}}=5,2$ дБ/км в гектометровому діапазоні на частоті 2,13 МГц і $\alpha_{\text{вк}}=50$ дБ/км в метровому діапазоні радіохвиль на частоті 151 МГц, що майже на 25 дБ/км перевищує паспортні значення.

В каналах з випромінюючими кабелями в тунелі в результаті численних перевипромінювань створюється інтерференційна структура і виникають глибокі просторові флуктуації напруженості поля і внаслідок цього відбуваються відповідні зміни перехідного згасання. Зміни рівнів сигналів в антені і величини перехідного згасання є випадковими процесами і можуть бути охарактеризовані тільки статистично з певною імовірністю появи. Характеристики перехідного згасання визначались шляхом статистичної обробки значень дискретної вибірки з реалізації відповідних випадкових процесів.

Перехідне згасання визначають як різницю рівнів сигналу в кабелі на певній відстані від передавача ($U_{i\delta\bar{a}} - \alpha l$) і сигналу в вимірjuвальній антені $U_{\bar{a}}$, яка встановлюється на відстані 2 м від кабелю:

$$A_{i\bar{a}\delta} = U_{i\delta\bar{a}} - \alpha l - U_{\bar{a}}, \quad (10)$$

де αl - втрати в кабелі від виходу передавача до зони виміру.

За результатами досліджень розподіл значень перехідного згасання не протирічить логарифмічно – нормальному закону. Середнє значення перехідного згасання складає $A_{i\bar{a}\delta} = 51,4$ дБ при $\sigma = 5,96$ дБ на частоті 151 МГц та $A_{i\bar{a}\delta} = 60,2$ дБ при середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 7,1$ дБ на частоті 2,13 МГц. При збільшенні відстані від кабелю перехідне згасання зростає на 1,2 дБ/м. В гектометровому діапазоні зростання досягає 4 дБ/м. Розроблена методика розрахунку дальності дії каналів радіозв'язку в тунелях з урахуванням сумарних втрат потужності сигналу в усіх елементах тракту передачі від виходу передавача до входу приймача $U_{i\delta\bar{i}}$

$$r = \frac{U_{i\delta\bar{a}} - U_{i\delta\bar{i}} - A_{i\bar{a}\delta} - B_{i\bar{a}\delta} - B_i}{\alpha_{\bar{a}\bar{i}}}, \quad (11)$$

де $B_{i\bar{a}\delta}$ - сума поправочних коефіцієнтів, які враховують параметри антено – фідерних трактів передавача і приймача з усіма елементами. дБ; $\hat{A}_i = \sigma \cdot \hat{A}$ - коефіцієнт, який враховує інтерференційні флуктуації напруженості поля і відповідні зміни перехідного згасання, визначається для необхідної надійності каналу по полю; \hat{A} - коефіцієнт для необхідної надійності зв'язку; σ - середньоквадратичне відхилення, дБ; $\alpha_{\text{вк}}$ – коефіцієнт згасання випромінюючого кабелю в тунелі, дБ/км

Запропонована схема організації дводіапазонних мереж поїзного радіозв'язку в тунелях залізниць з використанням випромінюючого кабелю у якості спільної направляючої лінії для каналів гектометрового і метрового діапазонів. Виконані розрахунки показали, що запропоновані технічні рішення забезпечують необхідну дальність зв'язку в обох діапазонах радіохвиль в залізничних тунелях довжиною до 2 км.

Рекомендації з розрахунку каналів радіозв'язку в тунелях залізниць внесені в розроблені «Правила організації та розрахунку мереж поїзного радіозв'язку» та затверджені Наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 09.06.2009 р. № 340-Ц.

Четвертий розділ присвячений розробці заходів із забезпечення необхідної надійності каналів технологічного радіозв'язку на етапах проектування, розрахунку та експлуатації радіомереж на основі результатів виконаних досліджень.

Найбільш важливою задачею є забезпечення необхідної надійності прогнозування рівнів сигналів при розрахунках зон обслуговування в процесі проектування радіомереж.

Пропонуємий метод розрахунку каналів рухомого радіозв'язку на залізницях базується на основі удосконаленої статистичної моделі, параметри якої визначені головним чином за результатами експериментальних

досліджень поширення радіохвиль в умовах впливу інфраструктури залізниць, приведених в розділі 2.

Метод дозволяє:

- забезпечувати частотну і технологічну універсальність розрахунку каналів на станціях і перегонах;
- підвищити надійність прогнозування енергетичних характеристик каналів;
- забезпечувати розрахунки безпосередньо за аналітичною формулою на основі визначення показників енергетичного потенціалу радіолінії без переходу до показників напруженості поля.

Розрахунки основних втрат для умов залізничних станцій $L_{\text{інт.пд}}$ і перегонів $L_{\text{інт.вд}}$ на неелектрифікованих ділянках залізниць визначені в розділі 2 дисертації (формули 8, 9).

Реальне значення втрат сигналів $L_{\text{іадаа}}$ в конкретних умовах організації радіомереж визначають із необхідною надійністю з урахуванням відповідних поправочних коефіцієнтів за формулою

$$L_{\text{іадаа}} = L_{\text{інт}}(f, h_1, h_2) + B_{\text{одап}} + B_{\text{ііа}}, \text{ дБ} \quad (12)$$

де $B_{\text{одап}}$ - сума поправочних коефіцієнтів, що враховує особливості траси поширення радіохвиль, рельєф місцевості, наявність контактної мережі на електрифікованих ділянках залізниць, дБ; $B_{\text{ііа}}$ - сума поправочних коефіцієнтів, що враховують просторові і часові флуктуації напруженості поля сигналів, визначається виходячи з необхідної надійності зв'язку по полю, дБ.

Максимально допустимий рівень втрат $L_{\text{аіі}}$, дБ на трасі поширення радіосигналу, при якому забезпечується необхідна якість і надійність каналів радіозв'язку на межі зони обслуговування,

$$L_{\text{аіі}} = P_{\text{іаі}} - P_{\text{іоі}} + B_{\text{іаі}}, \text{ дБ} \quad (13)$$

де $P_{\text{іаі}}$ - потужність передавача, дБм; $P_{\text{іоі}}$ - мінімально допустима потужність сигналу на вході приймача, дБм; $B_{\text{іаі}}$ - сума поправочних коефіцієнтів, що залежать від параметрів антенно-фідерних пристроїв передавача й приймача.

Дальність радіозв'язку, за умови $L_{\text{іадаа}} = L_{\text{аіі}}$, можна визначити шляхом безпосереднього розрахунку в ітераційному циклі або подати у вигляді графічного рішення. Приклад розрахунків дальності дії поїзного радіозв'язку на двоколіній електрифікованій ділянці та зони обслуговування БС в мережі GSM-R на залізничній станції наведено на рисунку 3, де дальність зв'язку визначається за точкою перетину кривих $L_{\text{одап}}$ і $L_{\text{аіі}}$.

З метою підвищення надійності радіозв'язку і розширення функціональних можливостей, мережі ПРЗ організуються в двох або трьох діапазонах радіохвиль. Зонні мережі ПРЗ організують в смузі частот 150 МГц метрового діапазону, а організація лінійних мереж можлива в дециметровому діапазоні 450 МГц або 900 МГц.

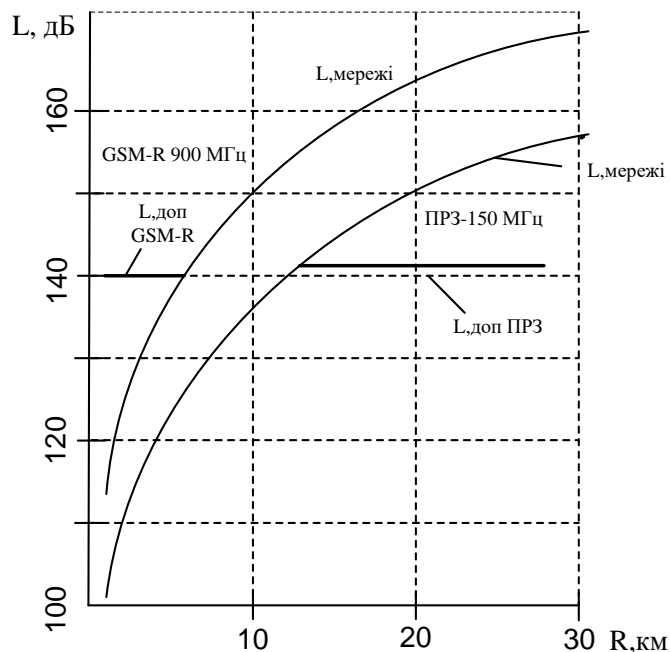


Рис. 3. Результати розрахунку дальності дії радіозв'язку

На теперішній час актуальною задачею є створення ефективних багатодіапазонних антен стаціонарних радіостанцій для дубльованих систем рухомого радіозв'язку. При цьому важливо забезпечити однаковий напрям і однакову ширину головної пелюстки діаграми спрямованості антен в різних частотних діапазонах для забезпечення однакових робочих зон. Розроблена математична модель (14) та виконані дослідження діаграм спрямованості плоских комплексованих дводіапазонних лінійних антен з колінеарним розташуванням при зміні співвідношення довжин хвиль робочих каналів λ_2/λ_1 .

$$F_2(\theta, \varphi, \lambda_2) = F_0(\theta) \left[\iint_{S_2} \dot{A}_2(x, y) e^{ik\vec{r}_s \vec{R}^0} ds_2 - \iint_{S_1} \dot{A}_2(x, y) e^{ik\vec{r}_s \vec{R}^0} ds_1 \right], \quad (14)$$

де $\dot{A}_2(x, y)$ - амплітудно-фазовий розподіл джерел поля у випромінювальному розкриві зовнішньої антени; $k = 2\pi/\lambda$ - хвильове число; \vec{r}_s - радіус-вектор точок на розкриві, поля в яких інтегруються, \vec{R}^0 - орт напрямку на точку спостереження в дальній зоні антени.

Діаграми спрямованості при зміні ширини головної пелюстки від 15° до 90° наведені на рисунку 4.

Для підвищення надійності з'єднувальних ліній базових станцій з центрами управління кожен лінійний канал передачі інформації в мережі необхідно дублювати. В необхідних випадках для організації таких ліній можливо застосовувати радіорелейні системи насамперед діапазону міліметрових хвиль у смугах частот 30-300 ГГц. При цьому важливо забезпечити однакову спрямованість і однакову ширину головної пелюстки

на всіх частотних каналах. Комплексований багатодіапазонний випромінювач може бути реалізований на вкладених одне в одного співвісно циліндричних хвилеводних або конічних рупорних випромінювачах, кожен з яких працює в певному частотному діапазоні з незалежним збудженням каналів. Виконані розрахунки діаграм спрямованості таких антен. Показано, що однакову ширину головної пелюстки діаграми спрямованості по кожному з частотних каналів можна реалізувати при відношенні робочих довжин хвиль сусідніх каналів більшому 1,6.

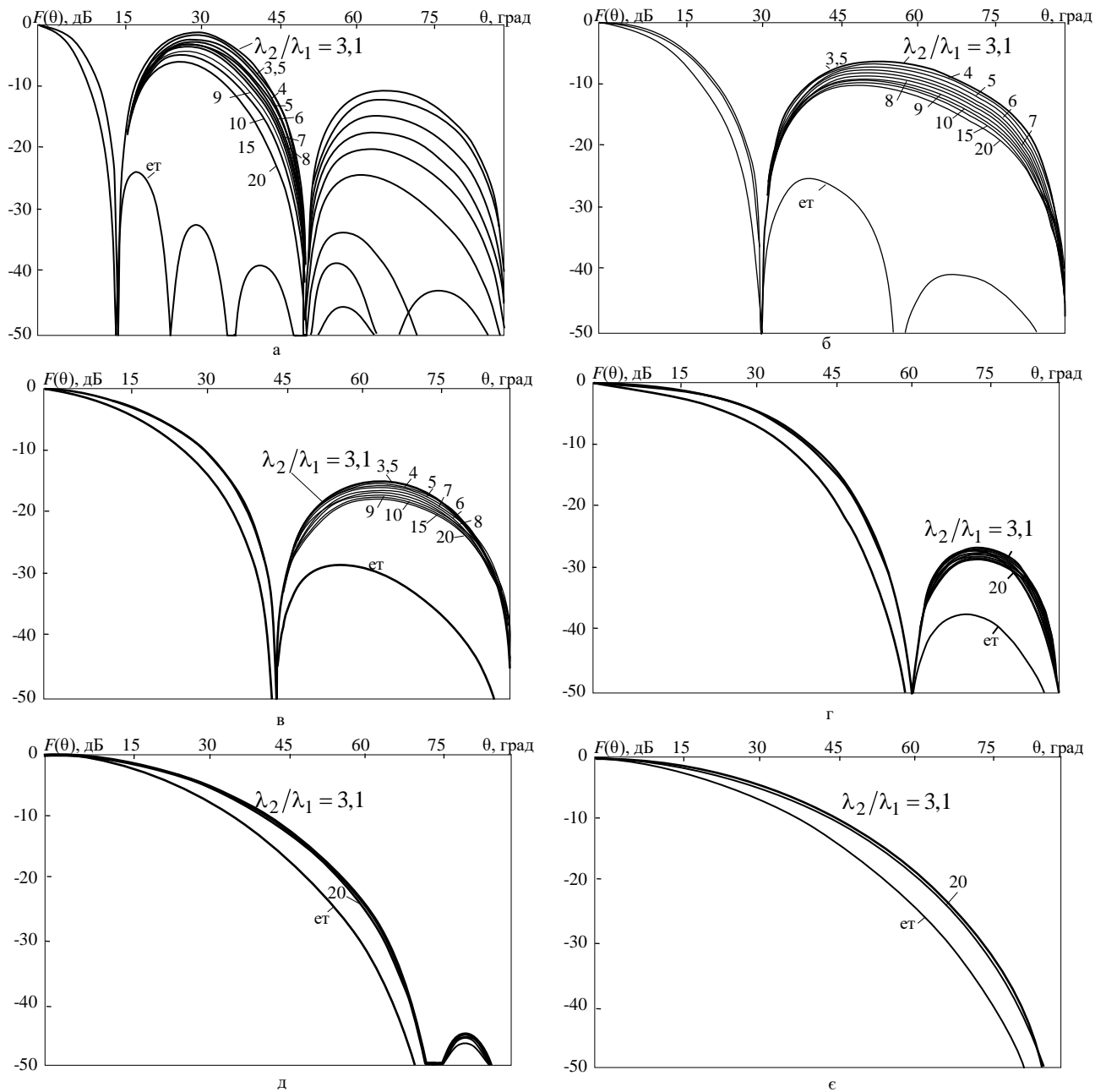


Рис. 4. Діаграми спрямованості комплексованих дводіапазонних вібраторних антен
 (а-при $\theta_0 = 15^\circ$, б-при $\theta_0 = 30^\circ$; в-при $\theta_0 = 45^\circ$, г-при $\theta_0 = 60^\circ$; д-при $\theta_0 = 75^\circ$,
 є-при $\theta_0 = 90^\circ$)

Контроль параметрів випромінювання стаціонарних радіостанцій розосереджених вздовж ділянок залізниць здійснюється при періодичному проїзді вагона-лабораторії радіозв'язку зі спеціальним вимірювальним комплексом. Це вимагає високої оперативності проведення вимірів і реєстрації результатів з їх прив'язкою до координат шляху. З метою підвищення ефективності експлуатаційного контролю розроблені технічні пропозиції щодо створення автоматизованого вимірювального комплексу вагона – лабораторії, який за своїми технічними характеристиками перевершує відомі аналоги. Комплекс реалізується на основі сучасних багатофункціональних вимірювальних засобів з високою чутливістю, використання геоінформаційних технологій і програмного управління роботою комплексу для автоматизації процедур.

Розроблена функціональна схема комплексу та вимоги до програмного забезпечення. Автоматизований вимірювальний комплекс радіомоніторингу побудований на базі широкодіапазонного скануючого приймача високої чутливості з цифровим виходом, персонального комп'ютера, приймача навігаційної системи GPS.

Розроблені алгоритми функціонування та процедури вимірювання необхідних параметрів в автоматичному режимі.

Комплекс забезпечує:

1. Автоматичний режим роботи при проведенні лінійних вимірювань каналів відповідно до програми;

2. В необхідних випадках можливість панорамного обзору працюючих радіозасобів в смугах частот, відведених для мереж технологічного радіозв'язку;

3. Візуалізацію процедур завдання вихідних даних, вимірювання параметрів, обробки результатів на всіх етапах і ділянках трас з широким набором сервісних послуг:

- порівняння результатів вимірювань з попередніми даними;
- повідомлення про вихід параметрів за межі допусків;
- виключення вимірювання неконтрольованих станцій;
- обробка результатів вимірів та визначення параметрів;
- видача мовних повідомлень та попереджень;
- архівування результатів вимірювань;
- аналіз результатів за заданими критеріями.

4. Видача діаграм рівнів сигналів на контрольованій ділянці, протоколів вимірів та інших форм звітності за встановленими формами.

Передбачена можливість втручання і участі операторів на будь – якому етапі роботи автоматизованого вимірювального комплексу.

Впровадження таких комплексів дозволить поліпшити якісні показники функціонування каналів технологічного радіозв'язку шляхом підвищення точності, вірогідності і розширення переліку контрольованих параметрів, прогнозування їхнього виходу за рамки допусків для своєчасного реагування.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У дисертаційній роботі вирішено нову важливу і актуальну науково – технічну задачу по удосконаленню методів розрахунку енергетичних характеристик каналів рухомого радіозв'язку у нових діапазонах радіохвиль із необхідною надійністю в умовах перегонів і тунелів залізниць та створення математичної моделі багатодіапазонних комплексованих антен. Проведені у дисертації дослідження, результати вирішення частинних наукових задач, а також результати розрахунків та експериментів дали змогу отримати наступні наукові і практичні результати.

1. Проведено аналіз впливу на показники надійності окремих структурних елементів мережі рухомого радіозв'язку, який показав, що в умовах впровадження сучасних високонадійних технічних засобів найбільш ефективним заходом підвищення надійності радіоканалів в цілому є заходи з забезпечення необхідної надійності прогнозування енергетичних характеристик та удосконалення експлуатаційного контролю, які реалізуються на етапі проектування і впровадження.

2. Показано, що використання існуючих методів розрахунку мереж рухомого радіозв'язку загального користування не забезпечує необхідної точності проектних розрахунків мереж технологічного радіозв'язку на залізницях, тому що в них не враховуються особливості поширення радіохвиль в умовах впливу інфраструктури залізничного транспорту. Основою точного прогнозування характеристик радіомереж при проектуванні є застосування адекватної моделі поширення радіохвиль в умовах організації мереж рухомого радіозв'язку на залізницях.

3. Проведено теоретичний аналіз особливостей багатопроменевої структури електромагнітного поля в умовах впливу інфраструктури залізниць та розроблена науково – обґрунтована методика експериментальних досліджень випадкових процесів флуктуацій напруженості поля сигналів.

4. Для умов поширення радіохвиль на залізничних станціях і перегонах уточнені параметри флуктуацій, які викликані впливом інфраструктури залізниць, що дозволяє проводити розрахунки енергетичних характеристик каналів із заданою надійністю.

5. Удосконалена статистична модель поширення радіохвиль в каналах рухомого радіозв'язку, яка найбільш повно враховує особливості поширення радіохвиль в умовах впливу інфраструктури залізниць та забезпечує підвищення точності прогнозування енергетичних характеристик каналів на 8-11 дБ.

6. Отримав подальший розвиток метод розрахунку каналів рухомого радіозв'язку, який забезпечує технологічну і частотну універсальність. При цьому аналітична форма спрощує процедури автоматизації і забезпечує підвищення надійності прогнозування енергетичних характеристик радіоканалів.

7. Розроблена математична модель багатодіапазонних комплексованих антен на основі вкладених лінійних, конічних і пірамідальних рупорних випромінювачів, які забезпечують однакову ширину головної пелюстки діаграми спрямованості для створення однакових робочих зон при застосуванні у дубльованих мережах поїзного радіозв'язку. Показано, що при цьому співвідношення довжин хвиль каналів повинно бути не менше двох.

8. Виконані дослідження статистичних характеристик радіоканалів з випромінюючим кабелем та розроблена методика розрахунку дальності дії радіозв'язку у тунелях залізниць із необхідною надійністю. Запропоновані схеми організації дводіапазонних мереж поїзного радіозв'язку з використанням випромінюючого кабелю у якості спільної спрямовуючої системи у тунелях довжиною до 2,8 км без використання лінійних підсилювачів.

9. Розроблена структура та алгоритми автоматизації роботи вимірювального комплексу радіомоніторингу вагона – лабораторії поїзного радіозв'язку, який за своїми функціональними можливостями перевищує відомі аналоги.

10. Результати дисертаційної роботи використані в науково-дослідних роботах, виконаних в Українському державному університеті залізничного транспорту та в навчальному процесі, що підтверджено відповідними актами реалізації.

11. Рекомендації з організації каналів технологічного радіозв'язку у тунелях з використанням випромінюючого кабелю внесені в розроблені «Правила організації та розрахунку мереж поїзного радіозв'язку», які затверджені Наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 09.06.2009 № 340-Ц.

12. Обґрунтованість отриманих результатів засновується на коректному застосуванні основних положень теорії поширення радіохвиль, теорії ймовірностей та випадкових процесів та технічної електродинаміки.

13. Достовірність отриманих теоретичних результатів підтверджено даними практичних експериментів та результатами моделювання.

14. Комплексне використання результатів досліджень, отриманих в дисертаційній роботі, дозволяє здійснювати побудову і проектування надійних мереж рухомого залізничного технологічного радіозв'язку в усіх діапазонах частот, виділених для залізничного транспорту, з урахуванням їх реальної інфраструктури. і умов поширення радіохвиль на залізничних станціях і перегонах.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Єлізаренко А.О. Дослідження статистичних характеристик каналу з випромінюючим кабелем в тунелі метрополітену [Текст] / А.О. Єлізаренко // Збірник наукових праць.-Харків: УкрДАЗТ, 2006.- вип.78. – С. 157-165

2. Єлізаренко А.О. Експериментальне дослідження характеристик каналів в стільникових мережах залізничного технологічного радіозв'язку

[Текст] / А.О. Єлизаренко, О.С. Сасенко // Збірник наукових праць.-Харків: УкрДАЗТ, 2008.- вип.98. – С. 93-104

3. Горобец Н.Н. Двухдиапазонные вибраторные антенны с одинаковой шириной главного лепестка диаграммы направленности [Текст] / Н.Н. Горобец, В.Н. Горобец, А.А. Елизаренко, А.С. Степанов // Вісник Харківського національного університета ім. В.Н. Каразіна №942, серія «Радіофізика та електроніка», вип. 17, 2010. – С. 49-54

4. Горобец Н.Н. Многодиапазонные пирамидальные рупорные антенны с одинаковой шириной главного лепестка диаграммы направленности [Текст] / Н.Н. Горобец, А.А. Елизаренко // Радиотехника. Всеукраинский межведомственный научно – технический сборник. Выпуск 173. Харьков, ХНУРЭ,2013, - С.31-37

5. Gorobets N.N. Multiband pyramidal horn antennas with identical main lobe widths of the directional patterns / N.N.Gorobets, A.A. Yelizarenko // Telecommunications and radio engineering. Volume 73, Number 9, 2014.-С.757-766 (переклад статті 4).

6. Горобец Н.Н. Характеристики направленности многодиапазонных комплексированных конических рупорных антенн с одинаковой шириной главного лепестка диаграммы направленности [Текст] / Н.Н. Горобец, А.А. Елизаренко // Вісник Харківського національного університета ім. В.Н. Каразіна №1094, серія «Радіофізика та електроніка», вип. 23, 2013. – С. 49-54

7. Єлизаренко А.О. Розробка методології розрахунку дальності дії каналів рухомого радіозв'язку в умовах впливу інфраструктури залізниць [Текст] / А.О. Єлизаренко // Інформаційні керуючі системи на залізничному транспорті. – 2014, №2, С.61-65

8. Єлизаренко А.О. Впровадження дводіапазонних мереж технологічного радіозв'язку в тунелях залізниць [Текст] / А.О. Єлизаренко // Інформаційні керуючі системи на залізничному транспорті. – 2014, №4, С.42-47

9. Єлизаренко А.О. Удосконалена статистична модель для розрахунку енергетичних характеристик каналів залізничного технологічного радіозв'язку [Текст] / А.О. Єлизаренко // Інформаційні керуючі системи на залізничному транспорті. – 2015, №2, С.37-42

10. Єлизаренко А.О. Автоматизированный измерительный комплекс поездной радиосвязи для вагона-лаборатории [Текст] / Елизаренко А.А., Елизаренко А.В., Книгавко Н.В., Кнышев И.П., Поляков П.Ф. // Матеріали 14 Міжнародної школи - семінару з перспективних систем управління. - Алушта, 2001 р. – С. 132

11. Єлизаренко А.О. Модель Окамури-Хата в розрахунках каналів залізничного технологічного радіозв'язку [Текст] / Єлизаренко А.О. // Матеріали 19 Міжнародної науково –практичної конференція «Перспективные системы управления на железнодорожном, промышленном и городском транспорте». - Алушта, 2006 р. – С. 5

12. Єлизаренко О.В. Модернізація мереж технологічного радіозв'язку на залізницях України [Текст] / О.В. Єлизаренко, А.О. Єлизаренко //

Матеріали 21 Міжнародної науково –практичної конференція «Перспективні комп'ютерні, керуючі й телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України» - Алушта, 2008 р. – С. 20

13. Горобець М.М. Двodiaпазонні вібраторні антени для мереж поїзного радіозв'язку [Текст] / М.М. Горобець, А.О. Єлизаренко // Матеріали 24 Міжнародної науково – практичної конференція «Перспективні комп'ютерні, керуючі й телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України» - Алушта, 2011 р. – С. 133

14. Горобець Н.Н. Многодиапазонные антенны миллиметрового диапазона радиоволн с одинаковой шириной главного лепестка диаграммы направленности [Текст] / Н.Н. Горобец, А.А. Елизаренко // Матеріали 26 Міжнародної науково – практичної конференції «Впровадження перспективних мікропроцесорних систем залізничної автоматики і засобів телекомунікацій на базі цифровізації» - Алушта, 2013 р. – С. 54

15. Єлизаренко А.О. Організація мереж технологічного радіозв'язку в тунелях залізниць [Текст] / А.О. Єлизаренко // Матеріали 76-ї Міжнародної науково – технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» // Збірник наукових праць УкрДАЗТ, Харків, 2014, вип..143, -С 224-225

16. Єлизаренко А.О. Особливості розрахунку енергетичних характеристик каналів рухомого радіозв'язку [Текст] / А.О. Єлизаренко // Матеріали 4-ї Міжнародної науково – практичної конференції «Інфокомунікації – сучасність та майбутнє» //- Одеса, ОНАЗ, 2014 р. – С. 35-38

17. Єлизаренко А.О. Удосконалення експлуатаційного контролю мереж залізничного технологічного радіозв'язку [Текст] / А.О. Єлизаренко // Матеріали 77-ї Міжнародної науково – технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» // Збірник наукових праць УкрДАЗТ, Харків, 2015, вип.151, –С 49-50

АНОТАЦІЯ

Єлизаренко А.О. Методи забезпечення необхідної надійності каналів рухомого технологічного радіозв'язку в умовах впливу інфраструктури залізниць. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. – Український державний університет залізничного транспорту, Харків, 2015.

Дисертаційна робота присвячена розробці методів забезпечення необхідної надійності каналів технологічного радіозв'язку на етапах організації, проектування та експлуатації радіомереж.

Удосконалена статистична модель поширення радіохвиль в каналах рухомого радіозв'язку, яка забезпечує підвищення надійності прогнозування енергетичних характеристик каналів. Отримав подальший розвиток метод розрахунку каналів рухомого радіозв'язку, який забезпечує технологічну і

частотну універсальність. Запропонована методика організації і розрахунку каналів ультракороткохвильового діапазону з випромінюючим кабелем в тунелях залізниць. Вперше розроблена математична модель дводіапазонних комплексованих антен для створення дубльованих систем технологічного радіозв'язку. Розроблена структура та алгоритми автоматизації процедур роботи вимірювального комплекс радіомоніторингу, який за своїми функціональними можливостями перевищує відомі аналоги.

Ключові слова: залізничний технологічний зв'язок, поширення радіохвиль в умовах залізниць, розрахунок зон обслуговування радіомереж, модифікована модель Окамура - Хата, випромінюючі кабелі, дводіапазонні мережі в тунелях залізниць, комплексовані багатодіапазонні антени, автоматизація експлуатаційного контролю радіоканалів

АННОТАЦІЯ

Елизаренко А.А. Методы обеспечения требуемой надёжности каналов подвижной технологической радиосвязи в условиях влияния инфраструктуры железных дорог. – Рукопись

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, 2015.

Диссертация посвящена разработке и исследованию методов обеспечения требуемой надёжности каналов железнодорожной технологической радиосвязи на этапах организации, проектирования и эксплуатации радиосетей.

Проведен анализ принципов организации и условий функционирования сетей технологической радиосвязи на железных дорогах. Рассмотрены основные направления совершенствования и проблемы, связанные с внедрением современных цифровых технических средств и освоением новых диапазонов частот. Показано, что в условиях внедрения современных технических средств наиболее эффективными мерами повышения надёжности сетей технологической радиосвязи на железнодорожном транспорте является рациональное решение основных вопросов организации, расчетов и эксплуатационного контроля радиоканалов на этапах проектирования и внедрения.

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований распространения радиоволн в условиях влияния инфраструктуры железных дорог в полосах частот 450 и 900 МГц, которые используются в сетях подвижной технологической радиосвязи. Предложена усовершенствованная статистическая модель для расчёта энергетических характеристик каналов подвижной радиосвязи. Использование предложенной модели повышает точность определения энергетических характеристик радиоканалов на 8 -11 дБ в условиях станций и перегонов железных дорог по сравнению с рекомендациями Международного союза железных дорог.

Получил дальнейшее развитие метод расчёта каналов подвижной железнодорожной радиосвязи, который обеспечивает технологическую и частотную универсальность, а аналитическая форма расчётов упрощает процедуры автоматизации и обеспечивает повышение надёжности прогнозирования.

Выполнены исследования статистических характеристик каналов с излучающим кабелем в туннелях и определены значения продольного и переходного затухания в реальных условиях прокладки. Предложена методика расчета дальности действия каналов радиосвязи в туннелях железных дорог с необходимой надёжностью. Разработана схема двухдиапазонных сетей поездной радиосвязи с использованием излучающего кабеля в качестве общей направляющей системы.

Необходимость обеспечения показателей высокой надёжности характерных для ответственных систем поставила задачу внедрения многодиапазонных дублированных сетей. Разработана математическая модель многодиапазонных комплексированных линейных, пирамидальных и конических рупорных антенн для условий создания дублированных систем технологической радиосвязи. Выполнены исследования диаграмм направленности таких антенн. Показано, что одинаковую ширину главного лепестка диаграммы направленности по каждому из частотных каналов можно реализовать при отношении рабочих длин волн соседних каналов большем двух.

Разработана структура и алгоритмы автоматизации работы измерительного комплекса радиомониторинга вагона – лаборатории поездной радиосвязи, который по своим функциональным возможностям превосходит известные аналоги. Внедрение таких комплексов позволит обеспечить необходимую надёжность функционирования каналов технологической радиосвязи путём повышения точности, достоверности и расширения перечня контролируемых параметров, прогнозирования выхода их за рамки допуска для своевременного реагирования.

Ключевые слова: железнодорожная технологическая связь, распространение радиоволн в условиях железных дорог, расчёт зон обслуживания радиосетей, модифицированная модель Окамура – Хата, излучающие кабели, двухдиапазонные сети в туннелях железных дорог, комплексированные многодиапазонные антенны, автоматизация эксплуатационного контроля радиоканалов

ANNOTATION

A.A. Yelizarenko Methods to ensure the required reliability of channels of mobile technological radio communication in the conditions of influence of railway infrastructure. - The manuscript.

Dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences, specialty 05.12.02 - Telecommunication systems and networks. - Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, 2015.

Dissertation work is devoted to development of methods to ensure the required of reliability of technological channels of radio communications on the stages of organization, design and operation of radio networks.

The improved statistical model of radio wave propagation for mobile radio communications, that provides improved accuracy of prediction of the energy characteristics of the channels. The calculation method channels of mobile radio, which provides technological and frequency versatility has been further developed. The proposed methods of organization and calculation of the channels VHF band with radiating cable in tunnels Railways. First developed mathematical model complexed multiband antennas for to create duplicate systems of technological radio communications. Developed the structure and algorithms of automation of work procedures the measurement system radio monitoring, which according to its functionality exceeds the known analogs.

Key words: technological railway communication, propagation of radio waves in conditions of Railways, the calculation of the service areas of radio networks, modified model Okumura - Hata, radiating cables, organization of dual-band networks in tunnels Railways, complexed multi-band antennas, automation of operational control of the radio channels

ЄЛІЗАРЕНКО АНДРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 621.391

**МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ НАДІЙНОСТІ КАНАЛІВ
РУХОМОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ
ВПЛИВУ ІНФРАСТРУКТУРИ ЗАЛІЗНИЦЬ**

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку 31.08.2015 р.
Формат паперу 60x84 1/16 Друк. Різограф.
Папір офсетний. Обсяг 0,9 друк. арк. Наклад 100 прим.
Зам. № . Безкоштовно

Видавництво УкрДУЗТ.
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК
61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7
Друкарня УкрДУЗТу, 61050, м. Харків, майдан Феєрбаха, 7.
