

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО  
ТРАНСПОРТУ**

На правах рукопису

**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

Дисертація на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Науковий керівник:  
Горобець Микола Миколайович  
доктор фізико – математичних наук, професор

Харків – 2015

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ЯКОСТІ І НАДІЙНОСТІ КАНАЛІВ В МЕРЕЖАХ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ ЗАЛІЗНИЦЬ.....	13
1.1. Постановка задачі.....	13
1.2. Аналіз сучасного стану та перспектив розвитку технологічного радіозв'язку на залізничному транспорті.....	14
1.3. Аналіз методів забезпечення необхідної надійності та якості каналів технологічного радіозв'язку.....	18
1.3.1. Система показників надійності і якості радіоканалів.....	18
1.3.2. Шляхи забезпечення необхідної якості і надійності радіоканалів.....	19
1.3.3. Модель забезпечення необхідної надійності системи рухомого радіозв'язку.....	23
1.4. Забезпечення необхідних енергетичних характеристик каналів технологічного радіозв'язку.....	26
1.4.1. Енергетичні характеристики радіоканалів.....	26
1.4.2. Аналіз моделей поширення радіохвиль в системах рухомого радіозв'язку.....	27
1.4.2.1. Теоретичні моделі поширення радіохвиль.....	27
1.4.2.2. Емпіричні моделі поширення радіохвиль.....	32
1.5. Організація радіозв'язку в тунелях залізниць.....	36
1.6. Удосконалення експлуатаційного контролю радіозасобів.....	38
1.7. Висновки по розділу 1.....	39
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СТАТИСТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ В КАНАЛАХ РУХОМОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ ВПЛИВУ ІНФРАСТРУКТУРИ ЗАЛІЗНИЦЬ.....	41

2.1. Постановка задачі.....	41
2.2. Порівняльний аналіз розрахунків енергетичних характеристик каналів за різними моделями.....	42
2.3. Особливості поширення радіохвиль в мережах залізничного технологічного радіозв'язку.....	46
2.3.1. Особливості інфраструктури залізниць, що впливають на умови поширення радіохвиль.....	46
2.3.2. Теоретичний аналіз структури електромагнітного поля в умовах впливу інфраструктури залізниць.....	48
2.4. Розробка методики експериментальних досліджень.....	55
2.5. Результати експериментальних досліджень поширення радіохвиль ультракороткохвильових діапазонів в умовах впливу інфраструктури залізниць.....	61
2.5.1. Середні значення напруженості поля.....	61
2.5.2. Параметри флуктуацій напруженості поля.....	65
2.6. Висновки по розділу 2.....	72
<b>РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ КАНАЛІВ РАДІОЗВ'ЯЗКУ З ВИПРОМІНЮЮЧИМИ КАБЕЛЯМИ.....</b>	
3.1. Постановка задачі.....	73
3.2. Техніко-експлуатаційні характеристики випромінюючих кабелів.....	74
3.3. Дослідження ампліудно-частотних характеристик коефіцієнта згасання випромінюючого кабелю.....	81
3.4. Експериментальні дослідження статистичних характеристик перехідного згасання випромінюючих кабелів.....	84
3.5. Методика розрахунку каналів ультракороткохвильового радіозв'язку в тунелях залізниць.....	92
3.6. Висновки по розділу 3.....	98

РОЗДІЛ 4. УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ, ОРГАНІЗЦІЇ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ КАНАЛІВ РУХОМОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ НАДІЙНОСТІ.....	100
4.1. Постановка задачі.....	100
4.2. Розробка методу розрахунку каналів рухомого радіозв'язку із необхідною надійністю в умовах впливу інфраструктури залізниць.....	101
4.3. Розробка математичної моделі багатодіапазонних комплексованих антен.....	109
4.4. Удосконалення експлуатаційного контролю та моніторингу радіомереж.....	120
4.5. Висновки по розділу 4.....	131
ВИСНОВКИ.....	132
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	135
ДОДАТОК А – Алгоритм функціонування вимірювального комплексу.....	149
ДОДАТОК Б – Алгоритм процедур вимірювання параметрів сигналів.....	152
ДОДАТОК В – Акти впровадження результатів дисертаційної роботи.....	155

## ВСТУП

**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 сучасним вимогам.

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 ІТУ-Р. 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 методику 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 і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків по роботі, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 157 сторінок, у тому числі: основний текст на 134 сторінках, перелік використаних джерел із 140 найменувань на 14 сторінках, 3 додатків на 9 сторінках. Дисертація написана українською мовою.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Радиотехнические системы железнодорожного транспорта: учебник для вузов железнодорожного транспорта [Текст] / Ю.В. Ваванов, А.В. Елизаренко, А.А.Танцюра и др. – М.: Транспорт, 1991. – 303 с.
2. Правила технічної експлуатації залізниць України [Текст]. – Київ: Транспорт України, 2003. – 133 с.
3. Инфокоммуникации Российских железных дорог. Состояние и перспективы развития [Текст] / Под общ. ред. В.Н. Сазонова, Л.Е. Варакина, С.В.Липатова. – М.: МАС,2006, – 192 с.
4. Закон України «Про телекомунікації» [Текст]. – ДВІА «Зв'язок», Київ,2003. – 58 с.
5. Ваванов Ю.В. Технологическая железнодорожная радиосвязь [Текст] / Ю.В. Ваванов. – М.: Транспорт, 1985. – 182 с.
6. Єлізаренко А.О., Єлізаренко О.В. Мережі технологічного радіозв'язку на залізничному транспорті: Конспект лекцій [Текст] / А.О. Єлізаренко, О.В. Єлізаренко.– Харків, УкрДАЗТ, 2007. – 59 с.
7. Слюняев А.Н. Будущее технологической радиосвязи [Текст] / А.Н. Слюняев // Автоматика, связь, информатика. – 2007, №5. – С. 2-4.
8. Овчинников А.М., Воробьев С.В., Сергеев С.И. Открытые стандарты цифровой транкинговой связи [Текст] / А.М. Овчинников, С.В.Воробьев, С.И. Сергеев. – М.: МЦНТИ, Мобильные коммуникации, 2000. – 148 с.
9. Сарфати Р. GSM-R – новый стандарт радиосвязи для железных дорог Европы [Текст] / Р. Сарфати // Железные дороги мира. – 2002, №10. – С. 55-58
10. Осмина С.В. Перспективы внедрения GSM-R [Текст] / С.В. Осмина // Автоматика, телемеханика, информатика. – 2007, №8. – С. 22-23
11. Лещев А.В. Технологическая радиосвязь на базе стандарта GSM [Текст] / А.В. Лещев // Железнодорожный транспорт. – 2009, №3. – С. 15-16

12. Транкінгові мережі залізничного технологічного радіозв'язку [Текст] : Навчальний посібник / О.В. Єлізаренко, А.О. Єлізаренко, В.П. Поляков, К.А. Трубочанінова. Українська державна академія залізничного транспорту. – Харків, УкрДАЗТ, 2006. – 93 с.

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

14. Лаптев М.А. Архитектура протокола DMR [Текст] / М.А. Лаптев // Автоматика, связь, информатика. – 2013, №8. – С. 12-14

15. Частотно – територіальний план діапазона 160 МГц [Текст] / А.Н Слюняев, К.К Алмазян, И.П Кнышев, Д.А Мельгунов // Автоматика, связь, информатика. – 2013, №6. – С. 2-5

16. Єлізаренко А.О. Особливості впровадження радіозасобів стандарту DMR на мережах технологічного радіозв'язку залізниць [Текст] / А.О. Єлізаренко, І.О. Єлізаренко // Матеріали 27 Міжнародної науково – практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» - Харків, 2014 р. – 66 с., С. 43

17. Єлізаренко А.О. Модернізація мереж поїзного радіозв'язку на ділянках швидкісного руху пасажирських поїздів [Текст] / А.О.Єлізаренко, І.О. Єлізаренко // Збірник наукових праць.-Харків: УкрДАЗТ, 2010.- вип.116. – С. 31-36.

18. Частотный план технологической радиосвязи железнодорожного транспорта [Текст]: утверждённый. МПС СССР 18.04.1989.

19. Дружинин Г.В. Методы оценки и прогнозирования качества [Текст] / Г.В. Дружинин. – М.: Радио и связь, 1982. – 160 с.

20. Прокофьев В.А. Эффективность и качество производственной связи [Текст] / В.А. Прокофьев, Г.М. Матлин.– М.: Радио и связь, 1983. – 144 с.

21. ДСТУ 2860 – 94. Надійність техніки. Терміни та визначення [Текст].1994.–96 с.

22. Радиотехнические системы передачи информации для вузов [Текст]: учебное пособие / В.А. Борисов, В.В. Калмыков, Я.М. Ковальчук, Ю.Н. Себекин и др. Под ред. В.В. Калмыкова. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.

23. ГОСТ 12252-86. Радиостанции с угловой модуляцией сухопутной подвижной службы. Типы, основные параметры, технические требования и методы измерений. 1986.– 32 с.

24. ДСТУ 4184:2003. Радіостанції з кутовою модуляцією сухопутної рухомої служби. Класифікація. Загальні технічні вимоги. Методи вимірювання. 2003– 50 с.

25. Гуткин Л.С. Проектирование радиосистем и радиоустройств [Текст] / Л.С. Гуткин. – М.: Радио и связь, 1986. – 288 с.

26. Горячев А.А. Каналы радиосвязи АСУ ТП [Текст] / А.А. Горячев. – М.: Связь, 1980. – 104 с.

27. Вемян Г.В. Передача речи по сетям электросвязи [Текст] /. Г.В. Вемян. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.

28. ГОСТ 16600-72. Передача речи по трактам радиотелефонной связи. Требования к разборчивости речи и методы артикуляционных измерений. 1972.– 112 с.

29. Семенюта Н.Ф. Безопасность движения поездов и верность передачи сообщений систем ТУ-ТС [Текст] / Н.Ф. Семенюта // Автоматика, телемеханика и связь. – 1996. - №2. – С. 20-23.

30. Новые поколения систем сигнализации // Железные дороги мира. – 1996. - №10. – с. 50-53.

31. Кловский Д.Д. Передача дискретных сообщений по радиоканалам [Текст] / Д.Д. Кловский. – М.: Радио и связь, 1982. – 304 с.

32. Берганов И.Р. Проектирование и техническая эксплуатация систем передачи [Текст] / И.Р. Берганов, В.Н. Гордиенко, В.В. Крухмалёв. – М.: Радио и связь, 1989. – 272 с.

33. Єлізаренко А.О. Радіоканали передачі даних в системах управління на залізничному транспорті [Текст] / А.О. Єлізаренко // Межвуз. зб. наук. пр./ ХарДАЗТ, 1999.-Вип.35.-С.13-19.

34. Доровских А.В. Сети связи с подвижными объектами [Текст] / А.В. Доровских, А.А. Сикарев. – К.: Техніка, 1989. – 158 с.

35. Общесоюзные нормы допускаемых промышленных радиопомех (Нормы 1-72-9-72). – М.: Связь, 1973. –76 с.

36. Князев А.Д. Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств [Текст] / А.Д. Князев. – М.: Радио и связь, 1984, – 336 с.

37. Петровский В.И. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств [Текст] / В.И. Петровский, Ю.Е. Седельников.– М.: Радио и связь, 1986. – 216 с.

38. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Узд. 2-е, испр. [Текст] / Б. Скляр – Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вільямс», 2004. – 1024 с.

39. Правила и нормы по оборудованию магистральных и маневровых локомотивов, электро- и дизель-поездов средствами радиосвязи и помехоподавляющими устройствами. – М.: Транспорт, 1991, – 32 с.

40. Раков А.И. Надёжность радиорелейных и спутниковых линий передачи [Текст] / А.И. Раков. – М.: Радио и связь, 1981. – 160 с.

41. Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ [Текст] / Под ред. У.К. Джейкса: Пер. с англ. / Под ред. М.С. Ярликова, М.В. Чернякова. – М.: Связь, 1979. – 520 с.

42. Мясковский Г.М. Системы производственной радиосвязи: Справочник. [Текст] / Г.М. Мясковский. – М.: Связь, 1980. – 216с.

43. Туляков Ю.М. Пространственная надёжность прохождения радиоканалов со сложной многолучевой структурой распространения в условиях города [Текст] / Ю.М. Туляков // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2010. - №5. – с. 75-84.

44. Васюк Д.С. Мониторинг радиосвязи на московской дороге [Текст] / Д.С. Васюк, О.С. Анрушко // Автоматика, связь, информатика. 2007. №12. С. 26-29.
45. Орлова Н.С. Опыт эксплуатации ЕСМА [Текст] / Н.С. Орлова // Автоматика, связь, информатика. 2008. №3. С. 17-19.
46. Вериго А.М. Цифровые системы технологической радиосвязи [Текст] / А.М. Вериго // Автоматика, связь, информатика. – 2008, №7. – С. 15-19.
47. Петров Б.П. Электродинамика и распространение радиоволн [Текст] / Б.П. Петров. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004, – 558 с.
48. Рекомендация МСЭ-Р Р.525-2. Расчёт ослабления в свободном пространстве. Calculation of free-space attenuation [Текст]. 1994. – 4 с
49. Калинин А.И. Распространение радиоволн и работа радиолиний [Текст] / А.И.Калинин, Е.Л. Черенкова. – М.: Связь, 1971. – 439 с.
50. Введенский Б.А. Распространения ультракоротких радиоволн [Текст] / Б.А. Введенский. – М.: «Наука», 1973. – 407 с.
51. Милютин Евгений Модели расчёта потерь мощности сигнала в сотовых системах связи [Текст] / Е Милютин // Мобильные телекоммуникации / 2008 № 4. – С. 25-29.
52. Галкин В.А. Цифровая мобильная радиосвязь [Текст] / В.А. Галкин. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2007. – 432 с.
53. ITU-R Recommendation P.370. VNF and UNF propagation curves for the frequency range 30 MHz to 1000 MHz. Broadcasting services. Кривые распространения ОВЧ и УВЧ диапазона частот от 30 до 1000 МГц [Текст]. 1991. – 45 с.
54. Recommendation ITU-R P.1546-3. Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz [Текст]. 2007. – 57 с.
55. Ли У Техника подвижных систем связи [Текст] / У. Ли. – М.: Радио и связь, 1985. – 392 с.

56. Hata M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services / M. Hata // IEEE Trans. Vehicular Technology, 1980. – Vol.29, №3 – P.317-325.

57. Investigation of Modified Hata Propagation Models. Spectrum Planning Report. Radiofrequency Planning Group Australian Communications Authority. SP 2/01, april 2001, p. 15.

58. Маковеева М.М. Системы связи с подвижными объектами [Текст] / М.М. Маковеева, Ю.С. Шинаков.– М.: Радио и связь, 2002. – 440 с.

59. Закиров З.Г., Сотовая связь стандарта GSM. Современное состояние, переход к сетям третьего поколения [Текст] / З.Г. Закиров, А.Ф. Надеев, Р.Р. Файзулин.– М.: Эко-Трендз, 2004. – 264 с.

60. Recommendation ITU-R P.529-3. Prediction methods for the terrestrial land mobile service in the VHF and UHF bands.1999. – 25 с.

61. Рекомендации COST 231 – Хата. [Электронный ресурс] – режим доступа до ресурсу [http://www.cost.eu/domains\\_actions/ict/Actions/231](http://www.cost.eu/domains_actions/ict/Actions/231).

62. Ikegami F. Theoretical prediction of mean field strength on urban mobile radio [Текст] / F. Ikegami // IEEE Trans. On Antenn. And Propag, 1991. – Vol.39, №3.

63. Правила организации и расчета сетей поездной радиосвязи: Нормативно-производственное издание. – М.: Транспорт, 1991.

64. Обеспечение радиосвязи в тоннелях // Железные дороги мира – 1995, №11. – С. 42-47.

65. Брейтбарт А.Я. Радиосвязь с подвижными установками в подземных тоннелях посредством излучающего кабеля [Текст] / А.Я. Брейтбарт // Зарубежная радиоэлектроника. – 1976. - №1. –

66. Касаткин Н.Ф. Сотовая связь в метро: как уменьшить расходы [Текст] / Н.Ф. Касаткин // Мобильные системы. – 2003, №6. – С.32-34

67. Устойчивая радиосвязь в диапазоне 160 МГц в тоннелях [Текст] / А.М. Вериго, А.А Черников, Ю.В Ваванов, О.К. Васильев // «Автоматика, связь информатика» 2011 г. №6;

68. Кузнецов С., Цепин А., Опыт практической реализации TETRA – системы радиосвязи в метрополитене г. Казани // Connect!Мир связи. – 2006, №6.С.32-69 Радиосвязь на Московском метрополитене: проект компании «Юст – телеком» // Connect!Мир связи. – 2006, №10.С.32.

69. Правила организации и расчета сетей поездной радиосвязи ОАО «РЖД»: Нормативно-производственное издание. – М.: ТРАНСИЗДАТ, 2005. – 109 с.

70. Експлуатація телекомунікаційних систем [Текст] / Г.Ф. Конахович, В.М. Чуприн, І.О. Мачалін, О.П. Ткаліч. – К.: «Центр учбової літератури», 2014. – 372 с.

71. Устройства поездной радиосвязи. Технологический процесс обслуживания и ремонта РМ 32 ЦШ 09.09-82. – М.: Транспорт, 1984. – 191 с.

72. Технологічний процес обслуговування та ремонту радіостанцій «Оріон РВ-4», «Оріон РС-6». Київ – 2008. – 207 с.

73. Шаботенко Е.И. Комплекс измерительных средств вагона-лаборатории радиосвязи КИС-ВЛ «Транспорт» [Текст] / Е.И. Шаботенко // Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте. 1993, №10. –С.25-27

74. Андрушко О.С. Измеритель радиопомех нуждается в доработке [Текст] / О.С. Андрушко // Автоматика, связь, информатика. 2005, №1. –С.17-19

75. Методические указания по расчету системы стационарной радиосвязи: Нормативно-производственное издание [Текст]. – М.: Транспорт, 1991. –46с.

76. Оценка возможностей по обеспечению обмена информацией в интегрированных системах автоматизированного управления ракетных комплексов сухопутных войск на основе учёта особенностей распространения радиоволн КВ и УКВ диапазонов [Текст] / А.Г. Снисаренко, С.В. Малахов, Ю.С. Литвинов, Н.Ф. Линник // Системи озброєння і військова техніка, 2011, №2.С.94-98

77. Попов А.С. Применение методов Окамура-Хата и Введенского для расчёта зон покрытия цифровых телевизионных передатчиков [Текст] / А.С. Попов // Доклады ТУСУР. . – 2010, №2.С.176-179

78. Афонин С.В. Проблемы электромагнитной совместимости систем сотовой связи [Текст] / С.В Афонин, В.Ф. Корсак // Зв'язок. . – 2004, №4.С.2-6

79. Василенко Г.О. Оценка ослабления сигналов сетей подвижной связи на коротких трассах прямой видимости [Текст] / Г.О. Василенко // Электроника:Наука, Технология, Бизнес. – 2008, №4.С.72-74

80. Таранчук А.А., Добровольский А.В. Методи розрахунку затухання електромагнітних хвиль при їх поширенні на трасах рухомого зв'язку [Текст] / А.А. Таранчук, А.В. Добровольский // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011, №3.С.200-205

81. Орлов С.Н. Влияние энергетических параметров радиоканалов систем мобильной связи на их основные характеристики [Текст] / С.Н. Орлов // Мобильные системы. . – 2006, №5.С.44-46

82. Єлізаренко А.О. Особливості розрахунку енергетичних характеристик каналів рухомого радіозв'язку [Текст]: тези доповідей / А.О. Єлізаренко // Матеріали 4-ї Міжнародної науково – практичної конференції «Инфокоммуникации – современность и будущее» // – Одеса, ОНАЗ, 2014 р, – 179 с.,С. 36-38

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

84. Єлізаренко А.О. Експериментальне дослідження характеристик каналів в стільникових мережах залізничного технологічного радіозв'язку [Текст] / А.О. Єлізаренко, О.С. Саєнко // Збірник наукових праць.-Харків: УкрДАЗТ, 2008.- вип.98. – С. 93-104.

85. Зимакова А.Н. Контактная сеть электрифицированных железных дорог [Текст] / А.Н. Зимакова. – М.:УМЦОЖТ, 2011. – 372 с.
86. Шубко В.Г. Железнодорожные станции и узлы [Текст] / В.Г. Шубко, Н.В. Правдин. – М.:УМК МПС РФ, 2002. – 368 с.
87. Казанский Н.Н. Экономическая география транспорта: Учебник для вузов [Текст] / Н.Н. Казанский, В.С. Варламов, В.Г. Галабурда и др; Под ред. Н.Н. Казанский. – М.: Транспорт, 1991,– 280 с.
88. Головин Э.С. Мультипликативные помехи в сетях железнодорожной радиосвязи [Текст] / Э.С. Головин.– М.: Транспорт, 1985. – 200 с.
89. Штагер Е.А. Рассеяние волн на телах сложной формы [Текст] / Е.А. Штагер, Е.В. Чаевский.– М.:Сов. радио, 1974. – 240 с.
90. Долуханов М.П. Флуктуационные процессы при распространении радиоволн [Текст] / М.П. Долуханов. – М.: Связь, 1971. – 184 с.
91. Венцель Е.С. Теория вероятностей [Текст] / Е.С. Венцель. – М.: Издательство «Наука», 1969. – 576 с.
92. Системы мобильной связи [Текст] / В.П. Ипатов, В.К. Орлов, И.М. Самойлов, В.Н. Смирнов.– М., Горячая линия – Телеком, 2003. – 272 с.
93. Гусев К.Г. Поляризация модуляция [Текст] / К.Г. Гусев, А.Д. Филатов, А.П. Сополев.– М., Сов. радио, 1974. – 288 с.
94. Бендат Д. Измерение и анализ случайных процессов [Текст] / Д. Бендат, А. Пирсол. – М.: Издательство «Мир», 1974. – 463 с.
95. Мирский Г.Я. Аппаратурное определение характеристик случайных процессов [Текст] / Г.Я. Мирский.– М.: Энергия, 1972. – 456 с.
96. МСЕ-R SM.1708. Измерения напряжённости поля вдоль маршрута с регистрацией географических координат [Текст]. 2005. – 7 с
97. Оценка объема статистической выборки [Текст] / Н.М. Ващенко, Г.М. Мясковский, Л.А. Склянский, З.И. Фликоп. – Метрология, 1970. №3.С.11-12.
98. Венцель Е.С. Теория вероятностей и её инженерные приложения [Текст] / Е.С. Венцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1988. – 480 с.

99. Рекомендации по разработке эскизного проекта системы цифровой радиосвязи стандарта GSM-R [Текст]: утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу № Р-887 от 6.11.2008г. Республика Польша, Варшава.– 12 с.

100. GSM-R. Procurement & Implementation Guide [Текст] / International Union of Railways-Paris, 2009. – 246 с.

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

102. Рекомендация ITU-R P. 1057-2-2007. Распределение вероятностей, касающихся моделирования распространения радиоволн [Текст]. 2007. – 18 с.

103. Таблицы распределения Релея – Райса [Текст] / Л.С. Барк, Л.Н. Большев, П.И. Кузнецов, А.П. Черенков. – М.: Вычислительный центр АН СССР, 1964. – 247 с.

104. Алтперт Я.Л. Распространение радиоволн и ионосфера [Текст] /. Я.Л. Альперт – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 480 с.

105. ДБН В.2.3 – 19-2008. Споруди транспорту. Залізниці колії 1520 мм. Норми проектування [Текст]: наказ Міністерства регіонального розвитку України від 26.01.2008 р. №42. – 2008. – 126 с.

106. Radiating Cables. [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу [http:// www.eupen.com](http://www.eupen.com).

107. Кабельные радиосистемы [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу, <http://www.crs.ru>.

108. Павлов А.А. Без «порочащих связей». Излучающий кабель: параметры, виды, конструкция, особенности [Текст] / А.А. Павлов, Н.И. Дорезюк, И.А. Серегин // Мир связи и информации, Connect. 1997 г., №5. – С. 76-81

109. Васильев О.К.. Особенности построения радиосети передачи данных и поездной радиосвязи в тоннеле [Текст] / О.К. Васильев, К.Ю Ваванов // Автоматика, связь, информатика. 2011. №12. – С. 14-17

110. Воробьёв С.В. Построение распределённых антенных систем на основе излучающего радиокабеля [Текст] / С.В. Воробьёв // Мобильные системы. . – 2004, №4. – С.56-61

111. Мущенко В.И. Методика анализа протяжённых излучающих структур типа «излучающий кабель» в присутствии полупроводящих стенок [Текст] / В.И. Мущенко // Радиотехника. - 2001. - №9. – С. 106-108

112. Бакеев В.Б. Практическая реализация оценивания коэффициента затухания радиоволн в тоннеле на основе методики частотно-пространственного сканирования [Текст] / В.Б. Бакеев, О.Б. Гончарук // Вестник СОНИИР.-2009.-№1 (23). – С.17-21

113. Мартынов В.И., Оценка размеров зоны радиопокрытия, создаваемой излучающим кабелем [Текст] / В.И. Мартынов // Электросвязь, 2009. №12. –С. 24-27

114. Paul P. Delogne and Louis Deryck, Underground Use of Coaxial Cable with Leaky Sections / IEEE Transactions on antennas and propagation, vol. ap-28, no. 6, November 1980, pp. 875-882

115. Katrich V.A. The frequency – energy and spatial characteristics of the coaxial – slot array / V.A. Katrich, V.A. Lyashchenko, N.V. Medvedev // International conference on antenna theory and techniques, 2013, Odessa, Ukraine, pp. 157-159

116. Катрич В.А. Щелевой излучатель в полубесконечной коаксиальной линии [Текст] / В.А. Катрич, В.А. Лященко, Н.В. Медведев // 22-я Международная Крымская конференция СВЧ – техника, телекоммуникационные технологии, Севастополь, Крым, Украина: материалы конференции – Севастополь, 2012 – С.495-496

117. 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

118. Жовинский А.Н. Инженерный экспресс – анализ случайных процессов [Текст] / А.Н. Жовинский, В.Н. Жовинский. – М.: Энергия, 1979. – 112 с.

119. Єлізаренко А.О. Організація мереж технологічного радіозв'язку в тунелях залізниць [Текст] / А.О. Єлізаренко // 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.

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

121. Правила організації та розрахунку мереж поїзного радіозв'язку. Затверджені наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 09.06.2009 №340-Ц. – 123 с.

122. Руководящие указания по организации и расчету ремонтно-оперативной радиосвязи: Нормативно-производственное издание. – М.: Транспорт, 1991. – 29 с.

123. Рекомендация ITU-R P. 453-9-03. Индекс рефракции радиоволн: его формула и данные о рефракции.

124. Рекомендация ITU-R P. 833-6-2007. Ослабление сигналов растительностью [Текст]. 2007. – 17 с.

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

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

127. 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 університету ім. В.Н. Каразіна №942, серія «Радіофізика та електроніка», вип. 17, 2010. – С. 49-54

128. Проблемы антенной техники. / Под ред. Л.Д. Бахраха, Д.И. Воскресенского.-М.: “Радио и связь”. 1989.-368 с.

129. Горобец Н. Н. К расчету многодиапазонных облучателей в ортогональном линейно– поляризованном базисе / Н. Н. Горобец // Радиотелескопы и интерферометры : 18–я Всесоюзная радиоастрономическая конференция. 14-16 октября 1986 г. : тезисы докладов – Иркутск : 1986. – Ч. 2. – С. 199–200.

130. Горобец 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

131. Горобец Н. Н. Характеристики направленности коаксиальных облучателей многодиапазонных зеркальных антенн / Н. Н. Горобец, М.Ю. Михненко // СВЧ техника и телекоммуникационные технологии : 11-я междунар. Крымская конф. (КрыМиКо'2001) 10–14 сент. 2001 г., Крым, Украина : материалы конф. — Севастополь : 2001. – С. 356–357.

132. 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

133. 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 132).

134. 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

135. Трёпшин В.Ф. Измерения параметров поездной радиосвязи [Текст] / В.Ф. Трёпшин, Ю.А. Швидкий // Автоматика, связь, інформатика – 2009, № 10. – С. 28-32

136. Слободянюк П.В. Довідник з радіомоніторингу [Текст] / П.В. Слободянюк, В.Г. Благодарний, В.С. Ступак. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект – Поліграф», 2008. – 588 с.

137. Закон України «Про радіочастотний ресурс України» від 24.06.2004 р. № 1876-IV.

138. 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

139. Єлізаренко А.О. Удосконалення експлуатаційного контролю мереж залізничного технологічного радіозв'язку [Текст] / А.О. Єлізаренко // 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

140. Скануючі приймачі [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу <http://www.aor.com;>.

