

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Березкіна Андрія Леонідовича

за темою “Методи та програмні засоби підвищення ефективності прийому радіосигналів в тунелях шахт”,

поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми дисертаційної роботи.

Варто зауважити, що тунелі шахт характеризуються складною геометрією поверхонь, що при розповсюдженні радіосигналів зумовлює наявність таких явищ як дифракція, рефракція та інтерференція, що призводить до появи інтермодуляційних завад, явища загасання радіосигналу. Крім того, на цих об'єктах є й інші промислові завади, наприклад, від працюючих електродвигунів, блоків живлення. При багатопробієвому розповсюдженні радіосигналів в тунелях шахт з ростом відстані від приймача до передавача вклад складової прямолінійного розповсюдження в функцію часу, що описує енергію сигналу в точці, суттєво зменшується. Це може призводити до появи зон, в яких прийом сигналу стає неможливим, якщо не враховувати Доплерівський ефект зміщення частоти.

Загальновідомо, що одним із етапів створення радіомережі на будь-якому об'єкті є планування радіопокриття. Сучасні програмні засоби радіопланування ґрунтуються на класичних теоріях розповсюдження електромагнітного поля. На етапі радіопланування стає зрозумілим обсяг необхідного радіообладнання, його розміщення та вимоги до технічних характеристик. При цьому, важливо мінімізувати кількість приймальних пристроїв, тобто розміщувати їх на великих відстанях, але таких, при яких забезпечується стійкий прийом сигналу, що можливо при енергії сигналу, яка перевищує мінімально необхідну.

Однак на даний час, для таких умов використання, переважно застосовуються радіопристрої зарубіжного виробництва, які є досить дорогими, мають закриті від загального використання протоколи та алгоритми роботи та відстань від передавача до приймача не перевищує 300 метрів. Враховуючи зазначене, доцільним передбачається розробка таких засобів в Україні із дальності зв'язку понад 300 метрів.

Водночас відсутня інформація у відкритих джерелах доступу щодо проведення подібних досліджень в Україні, а існуюче обладнання в Україні промислового радіозв'язку та планування його застосування базується на засадах принципів, без урахування особливостей розповсюдження радіохвиль в тунелях шахт.

В тунелях шахт при зміні відстані між передавачем та приймачем змінюється величина Доплерівського зміщення частоти, спрогнозувати яке достатньо складно через те, що геометричні характеристики тунелів можуть суттєво відрізнятися і їх форму в загальному випадку неможливо

У.М.Е. Вх. 116
02.04.2021р.

передбачити. Тому, існуючі розробки для антенних систем стосовно діаграм направленості антени не можуть бути використані в умовах тунелів шахт. В тунелях шахт також має місце багатопроменеве розповсюдження та інтерференційні завади. Для забезпечення надійного прийому корисного “свого” сигналу слід відмежуватися від сторонніх сигналів. Тому, виділення корисного “свого” сигналу є ще одним із завдань, що потребують вирішення при створенні програмних засобів, що передбачається розробити. При розробці програмних засобів з обробки радіосигналів необхідно враховувати можливості їх технічної реалізації. Варто також зазначити, що на сьогодні серед сучасних технологій радіозв’язку необхідно виділити технологію SDR, на основі якої можливе створення адаптивного панорамного приймача.

Отже, актуальним в науковому плані є завдання розробки методів, моделей та програмних засобів для вирішення задач радіопланування, забезпечення ефективного прийому радіосигналів на основі ідентифікації корисного “свого” радіосигналу та оцінки можливостей створення програмних засобів для багатоканального панорамного приймача на засадах SDR-технології, обчислювальна складність якого була б прийнятною для мінікомп’ютера панорамного SDR-приймача для забезпечення стійкого прийому радіосигналу в умовах тунелів шахт.

Дослідження з теми дисертації здійснювалося в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, котрі власне пов’язані з науково-дослідними роботами по темі “Розробка методів і засобів багатоканального акустичного моніторингу та оцінки фактичного стану підземних трубопроводів без їх розкриття у експлуатаційних умовах” шифр МОНІТОР та дослідженням і технічним розробкам у рамках НДР ТОВ “Дейта Експрес” пілотного проєкту по впровадженню на підприємствах МЕТІНВЕСТ та ДЕТЕК технологій мобільного зв’язку, позиціонування персоналу, транспортних засобів, застосування технологій IoT.

Оцінка змісту дисертаційної роботи, її завершеність.

Дисертаційна робота є завершеною працею. Вона складається з анотації, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (126 найменувань) та 2 додатків.

У *вступі* обґрунтована актуальність теми дослідження, встановлений зв’язок роботи з науково-прикладними програмами, планами і темами, сформульована мета роботи, основні напрями досліджень і методи їх вирішення. Надано опис об’єкту і предмету досліджень, викладені наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, наведені відомості про апробацію результатів роботи та публікації.

У *першому розділі* проведено аналіз методів радіопланування і прийому радіосигналів в умовах тунелів шахт. Представлено характеристики радіоперешкод, характерних для тунелів шахт. Визначені особливості розповсюдження радіосигналів в тунелях шахт та встановлено ряд тверджень.

Внаслідок проведеного аналізу сформульовані науково-прикладні

завдання та обґрунтовані напрями наукового дослідження.

У *другому розділі* запропоновано метод визначення ефективної відстані між джерелом радіосигналу та приймачем, а саме якомога більшої відстані, при якій все ж забезпечується стійкий прийом радіосигналу.

Розроблено обчислювальний метод в якому пошук відстані здійснюється в ітераціях, де кожне наступне значення визначається на основі екстраполяції значень енергії поля в точці, отриманих на основі пропонуваної адитивної моделі.

У *третьому розділі* дисертаційної роботи запропоновано метод ідентифікації радіосигналів на основі критерію “збігу фазового портрету”.

При спектральній обробці радіосигналу отримано спектральні характеристики: частотний спектр і фазовий спектр та визначено, що найбільш інформативною є спектральна група параметрів, а саме фазовий спектр, так зване “фазове сузір’я”. Для отримання фазового спектру серед різних видів спектральних перетворень сигналів запропоновано використовувати перетворення Фур’є. Представлена ефективність такого підходу. Представлено математичний апарат реалізації зазначеної методики. Доведено, що використання методики надасть можливість проводити детектування корисного сигналу в зазначених умовах.

У *четвертому розділі* дисертаційної роботи запропоновано математичну модель оцінки обчислювального навантаження адаптивного панорамного радіоприймача для умов роботи в тунелях шахт із урахуванням вимог, щодо якості прийому радіосигналу у реальному часі. Його програмно реалізовано по технології SDR у вигляді GNUradio-моделі та Simulink-моделі, запропоновано метод вибору його типу із сукупності існуючих мікропроцесорів.

У *додатках* до дисертаційної роботи подано акт впровадження.

Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій.

Високий рівень обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі обумовлюється коректністю логічного виводу та дотриманням наукового методу дослідження. Достовірність результатів підтверджується успішними результатами обчислювальних експериментів та досвідом практичного впровадження результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. Вперше запропоновано метод визначення відстані до місця розміщення радіоприймачів при вирішенні завдань радіопланування в тунелях шахт на основі використання математичної моделі енергії електромагнітного поля в точці, що є адитивною сумою енергій складових поля, які описують як процеси прямолінійного розповсюдження радіосигналів, так і ті, що виникають внаслідок дифракції та рефракції. Функції енергії в точці для складових, що входять в математичну модель,

визначаються згідно існуючих класичних моделей розповсюдження радіохвиль. А загальна функція енергії поля в точці формується як адитивна сума функцій складових поля, де коефіцієнти налаштування визначаються методом найменших квадратів за експериментальними даними. В запропонованому методі ітераційний процес уточнення відстані між передавачем і приймачем реалізується за рахунок екстраполяції функції енергії поля на іншу відстань з урахуванням обмеження на мінімальну енергію сигналу відповідно чутливості радіоприймача, з подальшим експериментальним підтвердженням рівня енергії сигналу.

2. Удосконалено метод ідентифікації радіосигналів на основі критерію «збігу фазового портрету» при направленому переборі значення Допплерівського зміщення частоти. На відміну від існуючих, запропонований метод дозволяє програмно визначати Допплерівське зміщення частоти, що забезпечує селекцію свого радіосигналу, за рахунок чого досягається стійкий прийом сигналу, в тому числі і для випадку динамічних змін меж області розповсюдження.

3. Запропоновано математичну модель оцінки обчислювального навантаження адаптивного панорамного радіоприймача для умов роботи в тунелях шахт з урахуванням вимог щодо якості прийому радіосигналу у реальному часі. Розроблено GNUradio-модель та Simulink-модель радіоприймача, що пов'язують часові параметри радіосигналу з параметрами процесора. При дослідженні моделей в чисельних експериментах для тестових послідовностей радіосигналів, для яких відношення сигнал/шум перевищує 5 dB, встановлено, що при використанні методу визначення «свого» радіосигналу кількість бітових помилок при прийомі зменшується в 10 і більше разів.

Наукове значення дисертаційного дослідження полягає у розробці:

- методу ітераційного визначення ефективної відстані між передавачем та приймачем радіосигналу на основі моделі оцінки енергії сигналу в точці при екстраполяції її значення на інші точки тунелю з урахуванням обмеження на мінімальну енергію сигналу з подальшим експериментальним підтвердженням рівня енергії сигналу. Модель будується як адитивна сума енергій складових поля, які описують як процеси прямолінійного розповсюдження радіосигналів, так і ті, що виникають внаслідок дифракції та рефракції. Функції енергії в точці для складових, що входять в математичну модель, визначаються згідно існуючих класичних моделей розповсюдження радіохвиль. А загальна функція енергії поля в точці формується як адитивна сума функцій складових поля, де коефіцієнти налаштування визначаються методом найменших квадратів за експериментальними даними;

- методу програмного визначення величини Допплерівського зміщення частоти при динамічній зміні умов розповсюдження радіосигналу на основі критерію «збігу фазового портрету».

Практичне значення дисертаційної роботи полягає в тому, що розроблені методи та моделі дозволяють:

- спростити розрахунок пунктів розміщення радіоприймачів;
- підвищити якість прийому радіосигналу за рахунок зниження числа бітових помилок;
- спростити вибір мікропроцесора при проектуванні адаптивного панорамного радіоприймача для роботи в умовах тунелів шахт при створенні приймача, в якому реалізується запропонований метод ідентифікації радіосигналів, за рахунок чого забезпечується ефективний прийом.

Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційного дослідження повною мірою відображені в опублікованих роботах. За напрямом досліджень проведених здобувачем, опубліковано 7 наукових праць, з яких: 6 статей у наукових фахових видання та 1 стаття в журналі, який індексований в міжнародній наукометричній базі SCOPUS. Публікації повною мірою відображають наукові та практичні результати дисертаційної роботи.

Зміст та кількість публікацій Березкіна А.Л., повнота відображення в них результатів дисертаційного дослідження відповідають існуючим вимогам.

Оформлення дисертації та автореферату

Зміст автореферату відповідає змісту дисертації. Автореферат містить основні положення, висновки та рекомендації, подані в дисертації, а також всю необхідну для оцінки роботи інформацію.

Мова і стиль викладення дисертації і автореферату чітко висвітлюють одержані науково-практичні результати, які відповідають меті дослідження.

Оформлення дисертації та автореферату відповідає існуючим вимогам та рекомендаціям відповідних положень.

Зауваження до дисертації та автореферату

1. У розділу 1 дисертації не досить строго виявлено недоліки результатів попередніх досліджень безпосередньо в напрямку підвищення ефективності функціонування реконфігурованих радіозасобів.

2. В роботі розглядається задача визначення ефективної відстані від передавача та приймача, по відношенню до її визначення використовується поняття реального часу, проте в роботі автором не роз'яснено, що мається на увазі під цим поняттям.

3. В дисертаційній роботі автор досить часто використовує поняття "свій радіосигнал", проте не зазначено його чіткого визначення.

4. В авторефераті дисертації не представлена інформація про те, яким чином отримано зменшення бітової помилки в 10 разів та яким чином отримується функція розподілу енергії електромагнітного поля в точці тунелю.

5. Автором не приведено порівняння, в скільки разів запропонована модель розподілу енергії електромагнітного поля спрощує розрахунок радіопокриття в тунелях шахт порівняно з існуючими.

6. Автором не пояснюються переваги запропонованого адаптивного панорамного SDR приймача в порівнянні з існуючими багатоканальними радіоприймачами, або побудованими по технології MIMO.

7. В дисертаційній роботі не розшифровано скорочення EME, а в авторефераті скорочення SDR, DSP, GNUрадіо, МШП, ШПФ.

8. В нумерації розділів в дисертаційній роботі пропущено розділ 3.12.

9. В дисертаційній роботі наявні граматичні та стилістичні помилки.

10. На деякі джерела із списку літератури пропущені посилання в тексті дисертаційної роботи.

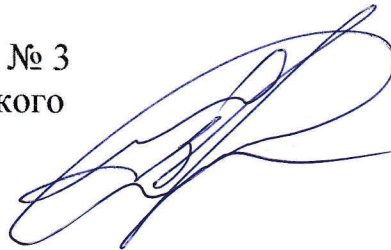
Загальні висновки до дисертаційної роботи

Вказані недоліки не суттєво впливають на науковий рівень дисертаційної роботи та не знижують загального позитивного враження від дисертаційного дослідження Березкіна А.Л.

Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, яке відповідає вимогам "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року № 567 (зі змінами), а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент

Старший викладач кафедри № 3
ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського
кандидат технічних наук
02.04.2021



Богдан НІКОЛАЄНКО

Підпис засвідчую
Заступник начальника інституту
(з наукової роботи)
кандидат технічних наук, доцент

02.04.2021



М.П.

Сергій КОНЮШОК