

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

**Бреславець Віталій Сергійович**

УДК – 621.396.001.57

**МЕТОД ЗАХИСТУ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ  
ВІД ПОТУЖНИХ ІМПУЛЬСНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків - 2005

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі “Системи інформації” Національного Технічного Університету “Харківський політехнічний інститут”.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор  
**Кравець Валерій Олексійович,**  
завідувач кафедри “Системи інформації”  
Національного Технічного Університету “Харківський  
політехнічний інститут”,

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Гурін Анатолій Григорович,**  
Завідувач кафедри “Електроізоляційна та кабельна техніка”  
Національного Технічного Університету “Харківський  
Політехнічний Інститут” Міністерства освіти і науки України м.  
Харків

кандидат технічних наук, доцент,

**Пєвнєв Володимир Яковлевич,**  
Професор кафедри “Захист інформації та спецтехніка”  
Національного університету внутрішніх справ МВС України, м.  
Харків.

Провідна установа : Кафедра “Метрології та вимірювальної техніки” Харківського  
Національного Університету Радіоелектроніки, МОН України, м.  
Харків.

Захист відбудеться “ 22 ” грудня 2005 року о “14” годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.01 при Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: Україна, 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту.

Відгук на автореферат просимо надсилати за адресою: Україна, 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий “ 15 ” листопада 2005р.

Вчений секретар  
Спеціалізованої вченої ради  
к.т.н., доцент

М.В. Книгавко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### Актуальність теми дисертаційної роботи.

Завершення індустріального етапу розвитку у більшості розвинених країн світу та перехід до інформаційного етапу передбачає широке використання провідникових ліній зв'язку для побудови комп'ютерних та телекомунікаційних мереж, які повинні забезпечувати вільний доступ до різноманітної інформації, розподіленої як в регіональних, так і в міжнародних мережах. У зв'язку з тим, що в поточний час на Україні ще не існує задовільної мережевої інформаційної інфраструктури як загальнонаціонального рівня, так і на рівні областей і регіонів, передбачається бурхливе зростання кількості нових інформаційних мереж, а також інтенсивне використання, існуючих. Наявність великої кількості інформаційних та телекомунікаційних мереж виводять на перший план проблему надійної експлуатації як існуючих, так і мереж, які створюються, зокрема проблему їх захисту від впливу електромагнітних завад.

Великий внесок до вивчення впливу електромагнітних завад на лінії зв'язку та методів захисту від них внесли Є.А. Болотов, Дж. Е. Бриджес, В.І. Кравченко, Д.Б. Кучер, Н.І. Летунова, Дж. Майлетта, Т.О. Мирова, М.І. Михайлов, А.З. Чепиженко, Л.У. Ріккетс та інші.

Так як велика кількість існуючих та розробляємих інформаційних мереж використовують для передачі телекомунікаційні лінії зв'язку різноманітної конструкції та призначення, то проблема їх захисту та під'єднуємої до них обчислювальної техніки виходить на перший план. Слід відмітити, що підвищення швидкості передачі інформації, приводить до зсуву до боку високочастотної складової спектр передаваної інформації, що призводить до різкого зниження ефективності екранування лінії зв'язку (ЛЗ), підвищенню рівня струму, що наводиться на суміжних ЛЗ та зниженню ефективності роботи використовуваних пристроїв захисту від завад внаслідок інерційності їх спрацьовування. При цьому дія зовнішніх електромагнітних завад призводить до такихож наслідків. Таким чином виникає задача підвищення завадостійкості інформаційних каналів зв'язку інформаційних систем.

У зв'язку з цим виникає необхідність у розробці методик, орієнтованих на проведення аналізу впливу нелінійних характеристик пристроїв захисту на параметри інформаційного сигналу. На основі розроблених методик необхідно створити алгоритми і програмне забезпечення, що дозволяє оцінити вплив нелінійних характеристик елементів захисту на якість передаваної інформації, проводити адекватний аналіз завадостійкості каналів зв'язку комп'ютерних систем, а також подавати отримані результати в зручному для аналізу вигляді.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами темами.** Робота виконувалася у межах національної програми "О национальной программе информатизации", № 74/98 - ВР від 4. 02. 1998 р. Результати цієї роботи також було використано при розробці держбюджетної теми № 6503 "Створення експериментальної платформи з відпрацювання перспективних технологій інформаційного обміну між закладами освіти та розробок методик впровадження сучасних

інформаційних технологій у навчальному процесі". Матеріали дисертації отримано у рамках досліджень за темою "Дослідження нових методів та засобів забезпечення живучості інформаційно-обчислювальних систем" (угоди №3/194 між НТУ "ХПІ" та АО "Електромеханічний завод "Магніт - Еконт", м. Канів, та угода № 5/194 між НТУ "ХПІ" та НВП "Хартрон - Альфа", м. Харків).

**Мета і задачі дисертаційного дослідження.** Метою дисертаційної роботи є забезпечення завадостійкості інформаційних систем із протяжними телекомунікаційними лініями зв'язку в умовах дії електромагнітних завад.

У відповідності з метою роботи та на ґрунті розглянутих аспектів об'єкту дослідження сформульована загальна наукова задача, яка полягає в теоретичному і експериментальному аналізі нелінійних інерційних процесів у протяжних лініях зв'язку із розподільними параметрами в умовах дії електромагнітних завад та розробці на цій науковій основі методів підвищення завадостійкості ліній зв'язку інформаційних систем.

Для досягнення цієї мети та вирішення загальної наукової задачі в дисертації розв'язуються такі задачі:

- розробка математичної моделі для аналізу та дослідження впливу нелінійних характеристик пристроїв захисту ліній зв'язку інформаційних систем на параметри інформаційного сигналу в умовах дії електромагнітних завад;
- розробка методики та програмного забезпечення для дослідження рівня завадостійкості ліній зв'язку інформаційних систем;
- обґрунтування методів підвищення завадостійкості ліній зв'язку інформаційних систем з оцінкою реальної ефективності їх практичного використання.

**Об'єктом дослідження** є процес впливу нелінійних параметрів пристроїв захисту на якість інформаційного сигналу.

**Предметом дослідження** є протяжні провідникові лінії зв'язку інформаційних систем різноманітні за конструкцією та призначенням.

**Методи дослідження.** Поставлені задачі розв'язуються за допомогою методів математичного апарату функціональних рядів Вольтерра, чисельних методів, методів лінійного програмування, фізичного експерименту в лабораторних умовах, статистичної обробки експериментальних даних та одержання на цьому ґрунті функціональних зв'язків та емпіричних залежностей.

#### **Наукова новизна отриманих результатів.**

Наукове значення роботи полягає у дослідженні нелінійних інерційних процесів у телекомунікаційних лініях зв'язку в умовах дії електромагнітних завад та розробці на цій основі методів підвищення їх завадостійкості. Вперше отримано наступні наукові результати:

1. Отримав подальший розвиток метод функціональних розкладень Вольєрра. Показана можливість його використання при аналізі протяжних кабельних ліній зв'язку телекомунікаційних мереж з нелінійними пристроями захисту.

2. Вперше було запропоновано математичну модель протяжної коаксіальної лінії зв'язку у вигляді каскадного з'єднання нелінійних пристроїв з зосередженими параметрами. Отримані загальні аналітичні співвідношення для визначення параметрів перехідної функції розробленої моделі.

3. Розроблено метод розрахунку рівня завадостійкості кабельних ліній зв'язку телекомунікаційних мереж.

4. Вперше розроблено і практично обгрунтовано розрахунково-експериментальний метод завадостійкості ліній зв'язку телекомунікаційних мереж.

**Практичне значення отриманих результатів** досліджень полягає в тому, що на підставі отриманих теоретичних положень розроблено технічні пропозиції по зниженню на 16 – 20 дБ наведених струмів та напруг, що з'являються в оболонках лінії зв'язку інформаційних систем при одночасному зменшенню у 3 – 5 разів ширини спектру діючих електромагнітних завад.

Практична значимість отриманих результатів підтверджується їх впровадженням у навчальному процесі на кафедрі “Системи Інформації” НТУ “ХП” при організації занять по курсах “Комп'ютерні мережі”, “Методи та засоби захисту інформації”, “Основи теорії інформації та кодування” (акт впровадження від 25.02.2003р.), на АТ “Електромеханічний завод “Магніт – Еконт”” (м. Канів) (акт впровадження № 3/194 від 14.11.2001р.), при розробці та створенні комп'ютерних систем підвищення завадостійкості, на ХДПЗ ім. Т.Г. Шевченка (акт впровадження від 07.04.2004р.), при доробці серійних зразків сучасного телекомунікаційного обладнання і систем управління атомними та тепловими електростанціями, на ДП “ХЗЕА” (акт впровадження від 14.05.2004р.), при доробці питань електромагнітної сумісності та захисту окремих функціональних вузлів та блоків лічильників електроенергії, на ДНВО “Комунар” при доробці питань електромагнітної сумісності і захисту окремих функціональних вузлів та блоків програмно - технічного комплексу ПТК СКРЗТ-6(12) (акт впровадження від 25.05.2004р.).

**Особистий внесок здобувача.** Автором дисертаційної роботи запропоновано у публікаціях, що виконано у співавторстві, наступне:

- в роботі [1] автору належить розробка методики аналізу впливу електромагнітних завад на лінії зв'язку інформаційних систем з використанням для цього математичного апарату рядів Вольєрра;

- в роботі [2] автором одержано загальне аналітичне співвідношення для визначення ядер Вольєрра каскадного об'єднання ланцюгів довільного порядку;

- в роботі [3] автором розроблено алгоритм для автоматичного розрахунку передавальної функції лінії зв'язку, яка є каскадним об'єднанням довільної кінцевої кількості ланцюгів;
- в роботі [4] автором обґрунтовано твердження розрахунково-експериментального методу по визначенню величини наведеного струму з урахуванням не лінійності пристрою захисту;
- в роботі [5] автором проведено огляд існуючих математичних моделей та наведено визначення інформаційної системи;
- в роботі [6] автором в роботі наведено аналіз працездатності існуючих пристроїв захисту та обґрунтована доцільність їх подальшого удосконалення;
- в роботі [7] автором визначено особливості використання методу сингулярних розкладень та проведено його адаптацію до задач визначення параметрів моделі пристроїв захисту;
- в роботі [8] автором запропоновано конструкцію пристрою захисту для кінцевих пристроїв телекомунікаційних мереж;
- в роботі [9] автором розроблено програмне забезпечення для розрахунку передавальної функції;
- в роботі [10] автором проведено огляд існуючих засобів захисту, розроблено метод розрахунку наведеного струму завод та запропоновано конкретні практичні рекомендації по їх зменшенню;
- в роботі [11] автором запропоновано спосіб зменшення наведеного струму у ін формаційному каналі зв'язку інформаційної системи;
- в роботі [12] автором запропоновано конструкцію розробленого пристрою захисту провідникової лінії зв'язку інформаційної системи;
- в роботі [13] автором запропонована система інформаційного контролю роботи пристроїв захисту провідникових ліній зв'язку.

**Апробація результатів дисертації.** Результати практичних і теоретичних досліджень, що викладено в дисертаційній роботі, доповідалися та обговорювалися на 4 міжнародних науково-технічних конференціях “Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье” MicroCAD, м. Харьков, ХДПУ – НТУ “ХПИ” (1999 – 2002 р.р.); міжнародній конференції “Проблеми інформатики та моделювання”, м. Харків: НТУ "ХПИ", 2001 р. та 3 семінарах НАНУ “Идентификация и моделирование поведения объектов в условиях электромагнитных излучений”, м. Харків (2000 – 2002 р.р.).

**Публікації.** За темою дисертації автором самостійно та у співавторстві опубліковано 13 наукових праць, що включають до свого складу 8 наукових статей, 4 патенти України, одну комп'ютерну програму, що зареєстрована у Державному департаменті інтелектуальної власності. Усі статті опубліковано у збірниках наукових праць, що входять до переліку видань, дозволених ВАК України для публікації матеріалів дисертації з технічних наук.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатка. Роботу викладено на 169 сторінці. Вона містить 42 рисунки, 5 таблиць, список використаної літератури з 188 джерел на 17 сторінках. В додатку наведено документи про впровадження результатів роботи.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** сформульована задача досліджень, розкрита актуальність і новизна прийнятого напрямку досліджень, представлена наукова новизна і практичне значення отриманих результатів.

**У першому розділі**, на основі огляду літератури, визначено об'єкт досліджень, характер взаємодії та загальна модель дії електромагнітних завад на провідні лінії зв'язку інформаційних систем, визначено критерії їх завадостійкості та проведено оцінку дії електромагнітних завад на них. Показано, що найбільш уразливими до дії електромагнітних завад є такі елементи інформаційних систем як провідні лінії зв'язку комп'ютерних, інформаційних та телекомунікаційних мереж, причому існуючі технічні можливості пристроїв захисту не забезпечують їх достатньої завадостійкості. Тому предметом досліджень прийнято провідні лінії зв'язку інформаційних систем різноманітні за конструкцією та призначенням.

Основні параметри електромагнітних завад є відправними даними для подальшого аналізу завадостійкості інформаційних систем. При цьому наданий аналіз відомих критеріїв завадостійкості (імпульсна електрична міцність, термічна стійкість) дозволив перейти до узагальнюючого критерію, при якому величина наведеного струму  $I_n$  на оболонці провідної лінії зв'язку не повинна перевищувати величини, що дозволяється  $I_d$ :

$$\sum_{i=1}^n I_d^i > \sum_{i=1}^n I_n^i. \quad (1)$$

Результати аналізу дії електромагнітних завад різноманітної форми на лінії зв'язку вказують на можливість виникнення наведеного струму значної величі (рис.1, таблиця 1).

Параметри струму завад у протяжних лініях зв'язку. Таблиця 1.

Параметри	Одиниця виміру	Повітряна лінія	Кабель у землі
Амплітуда імпульсу	кА	5	1,5
Довжина фронту імпульсу	мкС	0,1	0,1-0,5
Довжина імпульсу на рівні 0,5 амплітуди	мкС	1	1-5
Швидкість зростання фронту імпульсу	кА/мкС	50	15

Рис.1. Характеристика струму завад у лініях зв'язку незначної довжини.

Наведений в дисертації порівняльний аналіз відомих методів підвищення завадостійкості інформаційних систем до дії електромагнітних завад дозволяє зробити висновок про те, що забезпечення їх захисту у широкому амплітудно - частотному діапазоні з використанням існуючих засобів захисту є недостатнім внаслідок інерційності їх спрацьовування та малої енергоємності. Таким чином, поряд з методами захисту інформаційних систем, що традиційно використовуються, виникає потреба у розробці додаткових засобів.

Одним з перспективних напрямків підвищення завадостійкості є використання додаткових оболонок, які зменшують амплітуду наведеного струму. Показано, що найбільш придатним для досягнення цієї мети є оболонки з феромагнітного матеріалу, характеристики яких стають нелінійними при дії електромагнітних завад.

Приймаючи до уваги невивченість цих нелінійних процесів, а також їх різноманітність, у **другому розділі** дисертації на ґрунті досліджень проведено аналіз відомих методів урахування нелінійних процесів та розроблено метод аналізу впливу електромагнітних завад на лінії зв'язку телекомунікаційних мереж.

Показано, що традиційні методи урахування нелінійних характеристик феромагнітних матеріалів недостатньо повно враховують нелінійні інерційні якості. При цьому доказано, що для аналізу цих ефектів найбільш придатним є метод функціональних розкладень, який засновано на представленні вихідного сигналу у вигляді функціонального ряду Вольтера від вхідної дії.

$$Y(S_1, S_2, \dots, S_n) = \sum_{n=1}^{\infty} H_n(S_1, \dots, S_n) \prod_{r=1}^n X(S_r), \quad (2)$$

де  $X(\bullet)$  - зображення вхідного сигналу;

$Y(S_1, S_2, \dots, S_n)$  - зображення сигналу на виході;

$H_n(\bullet)$  - ядро Вольтера  $n$  - го порядку.

Відомо, що у процесі вирішення поставленої задачі центральною та найбільш складною проблемою є визначення ядер Вольтера. Послідовність цих ядер повністю та однозначно описує якості нелінійної інформаційної системи, що досліджується, та не залежить від вигляду вхідного сигналу.



Еквівалентна схема елемента нелінійної системи із згрупованими параметрами наведена на рисунку 2

Рис.2. Еквівалентна схема елемента нелінійної системи.

Розроблені існуючі способи визначення ядер Вольтера дозволяють досліджувати за допомогою функціонального методу достатньо складні нелінійні радіотехнічні системи, які включають до свого складу не більш ніж двох чи трьох каскадні з'єднання нелінійних пристроїв відносно невисокого порядку. Однак відсутня методика визначення ядер Вольтера для аналізу каскадного з'єднання у загальному випадку довільної кінцевої кількості нелінійних ланцюгів достатньо високого порядку, що характерно для досліджуємих нелінійних систем з розподільними параметрами.

У зв'язку з цим було розроблено загальне аналітичне співвідношення (3) для визначення ядер Вольтера каскадного з'єднання нелінійних ланцюгів довільного порядку, що дало можливість здійснити новий підхід до оцінки завадостійкості інформаційних систем з використанням для цього функціонального методу.

Розроблено математичну модель для дослідження нелінійних розподільних систем наведено на рисунку 3.

Рис.3. Модель інформаційної системи з розподільними параметрами.

$$\begin{aligned}
 G_n^l(s_1, s_2, \dots, s_n) &= \sum_k G_{k_1}^{(l-1)}(s_1, s_2, \dots, s_{k_1}) \times G_{k_2}^{(l-1)}(s_{k_1+1}, \dots, s_{k_1+k_2}) \times \\
 &\times \dots \times G_{k_m}^{(l-1)}(s_{k_1+1+\dots+k_{m-1}}, \dots, s_n) \times \\
 &\times H_M^l \left( \sum_{i=1}^{k_1} s_i, \sum_{i=k_1+1}^{k_1+k_2} s_i, \dots, \sum_{i=k_1+1+\dots+k_{M-1}}^n s_i \right).
 \end{aligned} \tag{3}$$

де  $X(S)$ ,  $Y(S)$  - вхідний та вихідний сигнали відповідно;

$G_n^l \mathfrak{S}^-$  - ядро Вольтера  $n$ -го порядку  $l$ -каскадного сполучення елементів;

$H_n^1 \mathfrak{S}^-, \dots, H_n^l \mathfrak{S}^-$  - ядро Вольтера  $n$ -го порядку кожного з нелінійних елементів, що входять в  $l$ -каскадне сполучення, причому надрядковий символ означає номер елемента, а підрядковий - порядок ядра.

Одержане співвідношення має рекурсивний характер, який полягає у використанні ядер Вольтера більш низького порядку при одержанні аналітичних виразів для ядер більш високого порядку.

Розроблене співвідношення вимагає наявність інформації про параметри кожного із захисних елементів із зосередженими параметрами, які входять до складу багато каскадного сполучення. Тому у роботі розроблено часткову розрахунково – експериментальну методику по визначенню ядер Вольтера нелінійного захисного пристрою із зосередженими параметрами. Вона

включає до свого складу зондування захисного пристрою спочатку одиноким вхідним сигналом, за розрахунками якого визначається ядро Вольтерра першого порядку. Потім здійснюється зондування сумою двох функцій та визначається ядро Вольтерра другого порядку. Одержані ядра Вольтерра дозволяють побудувати нелінійну передавальну функцію пристрою захисту та на їх ґрунті зробити оцінку ефективності пристрою захисту із зосередженими параметрами.

Використання методики експериментального визначення параметрів пристрою захисту із зосередженими параметрами та одержане співвідношення для визначення ядер Вольтерра системи із розподільними параметрами створили основу для методу захисту телекомунікаційних мереж інформаційних систем.

Таким чином розроблений розрахунково-експериментальний метод включає до свого складу наступні кроки:

1. За допомогою часткової розрахунково-експериментальної методики визначають параметри пристрою захисту із зосередженими параметрами.
2. Визначають кількість ділянок лінії зв'язку, на яких планується розташування пристроїв захисту із зосередженими параметрами.
3. Використовуючи одержане співвідношення, визначають узагальнені ядра Вольтерра.
4. На ґрунті одержаних узагальнених ядер Вольтерра лінії зв'язку створюється нелінійна передавальна функція, яка визначає величини захищеності провідникових ліній зв'язку інформаційних систем в умовах дії електромагнітних випромінювань.

Результати проведеної оцінки ефективності розробленого методу захисту для розподільних каскадно-об'єднаних нелінійних елементів у випадку використання пасивних захисних пристроїв у порівнянні із захисними пристроями із зосередженими параметрами наведено у таблиці 2

Результати проведеної оцінки ефективності розробленого методу захисту. Таблиця 2.

n	$H_1(f_1)$	0,9	0,95	0,99
1		0	0	0
2		6,94	6,47	6,1
3		11,37	10,43	9,72
4		14,78	13,38	12,30
5		17,64	15,76	14,33

Ефективність використання розподільних пристроїв захисту згідно зазначеного критерію (1) визначено по зменшенню величини струму, який наводиться на оболонці лінії зв'язку.

Вона визначена співвідношенням:

$$\mathcal{E} = 20 \log \frac{n}{H_1^{n-1}(f_1)}, \quad (4)$$

де  $n$  – кількість каскадно встановлених пристроїв захисту;

$H_1(f_1)$  – нелінійна передавальна функція пристроїв захисту першого порядку на частоті  $f_1$ .

Аналіз даних, які наведено в табл. 2 показав, що використання розподільних пристроїв захисту ліній зв'язку у порівнянні з пристроями із зосередженими параметрами дозволяє додатково знизити величину наведеного струму на оболонці лінії зв'язку на 7-15 дБ.

При цьому слід зазначити, що одержані дана по ефективності використання запропонованих захисних пристроїв є результатом аналітичного аналізу. Однак для підтвердження їх достовірності слід провести таку оцінку на моделі. Тому у **третьому розділі** на моделі проведено оцінку ефективності розробленого методу захисту телекомунікаційних мереж.

На ґрунті аналізу існуючого програмного забезпечення, яке використовується для автоматизації інженерних розрахунків адаптовано метод сингулярних розкладень для визначення параметрів моделі пристрою захисту. Це дозволило автоматизувати процес визначення параметрів пристрою захисту із зосередженими параметрами.

Проведений обчислювальний експеримент типового пристрою захисту вхідних ланцюгів інформаційних систем довів можливість використання одержаних ядер Вольтерра як критеріїв ефективності використання нелінійних пристроїв захисту із зосередженими параметрами.

При цьому відносна похибка моделювання не перевищувала 18 %, що є достатнім рівнем при проведенні інженерних розрахунків.

Враховуючи рекурсивний характер одержаного співвідношення для визначення узагальнених ядер Вольтерра, що придатне для розподільних мереж, розроблено алгоритм та програмне забезпечення "ЗАХИСТ". Вони дозволили автоматизувати процес визначення впливу нелінійних характеристик елементів захисту на якість інформації, що передається по телекомунікаційній мережі. Комплекс "ЗАХИСТ" написано на мові програмування пакета СУБД FoxPro 2.6. і призначено для роботи, як у середовищі MS-DOS, так і Windows. У сукупності розроблено програмне забезпечення дало змогу реалізувати розроблений розрахунково-експериментальний метод захисту телекомунікаційних мереж інформаційних систем.

Проведені на моделі аналітичні дослідження показали можливість зниження (на 20 – 23 дБ) величини наведеного імпульсного струму на захисній оболонці лінії зв'язку інформаційної системи при одночасному зменшенні ширини діючого спектру та зсуву його до низькочастотної складової спектру.

Однак для оцінки реально досягнутого рівня захищеності кабельних ліній зв'язку телекомунікаційних мереж від потужних імпульсних електромагнітних завад та визначення ступеню достовірності розробленого методу захисту слід провести його експериментальну перевірку.

Тому у **четвертому розділі** дисертації проведено розробку та експериментальну перевірку запропонованих практичних рекомендацій по підвищенню завадостійкості ліній зв'язку інформаційних систем.

Вони полягають у наступному:

- рекомендовано пристрій захисту для телекомунікаційних мереж виконувати у вигляді переважаючої смуг з феритового матеріалу та сегнетоелектрику, наприклад, титанату барію ( $\text{BaTiO}_3$ );
- конструктивно їх повинно виконувати розбірними, що дозволяє використовувати їх на існуючих лініях зв'язку без додаткової конструктивної доробки цих ліній;
- розташування пристрів захисту на лінії зв'язку, що захищається, потрібно виконувати рівномірно.

Реалізація розроблених рекомендацій дозволила створити реальний пристрій захисту протяжної лінії зв'язку, конструкцію якого наведено на рисунку 4.

Рис. 4. Конструкція пристрою захисту та приклад його розташування на лінії зв'язку.

- де 1 – діелектрична оболонка, наприклад, лавсанова плівка;  
 2 – ферит ( $\mu = 1000 \div 10000$ );  
 3 – сегнетоелектрик ( $\varepsilon = 1000 \div 10000$ );  
 4 – металева оболонка;  
 5 – замок.

Експериментальні дослідження достовірності розроблених рекомендацій фрагменту захищеної лінії зв'язку на лабораторній установці дозволили зробити висновок про можливість зниження на 16 – 20 дБ. максимального значення наведеного імпульсного струму та зменшення у 3 – 5 разів ширини його спектру при умові зсуву його до низькочастотної складової спектру.

При цьому проведена перевірка працездатності пристрою захисту у складі інформаційних каналів зв'язку вимірювальних систем показала його високу ефективність та можливість здійснення квазігальванічної розв'язки при вимірі отриманих імпульсних сигналів.

Слід також зазначити, що розбіжності у величині рівня захисту телекомунікаційних мереж інформаційних систем від електромагнітних завад, які виконані шляхом аналітичних розрахунків (20 – 23 дБ) та експериментальним шляхом (16 – 20 дБ) у середньому складає 16% , що є достатнім для виконання інженерних розрахунків.

## ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В дисертаційній роботі отримали подальший розвиток методи підвищення завадостійкості телекомунікаційних мереж інформаційних систем в умовах дії електромагнітних завад. Отримані в дисертації результати у сукупності дозволили вирішити важливу науково - прикладну задачу підвищення якості функціонування телекомунікаційних мереж інформаційних систем в умовах дії електромагнітних завад.

1. На підґрунті аналізу впливу електромагнітних завад на лінії зв'язку телекомунікаційних мереж обґрунтована необхідність подальшого розвитку пристроїв захисту ліній зв'язку телекомунікаційних мереж. Проведений аналіз довів, що відомі засоби забезпечення завадостійкості недостатньо ефективні. Це обумовило необхідність підвищення завадостійкості ІС з протяжними кабельними лініями зв'язку при дії електромагнітних завад.

2. Створені методики визначення ядер Вольтерра каскадного з'єднання довільної кінцевої кількості нелінійних ланцюгів лінії зв'язку дозволили суттєво розширити аналітичні можливості та область застосування математичного апарату функціональних рядів Вольтерра. Отримано рекурсивний аналітичний вираз, який дозволяє безпосередньо розраховувати ядра багатомірної передавальної функції довільної рахункової кількості каскадно з'єднаних елементів захисту.

3. З метою визначення ефективності використання нелінійних пристроїв захисту, запропоновано використовувати ядра Вольтерра як критерії ефективності. При цьому, для оцінки можливостей запропонованого методу, створена модель нелінійного типового пристрою захисту вхідних ланцюгів інформаційних систем та виконана оцінка похибки моделі, що розроблена, яка не перевищувала 18%, що є достатнім для інженерних розрахунків.

4. Експериментальні дослідження фрагментів захищеної лінії зв'язку на лабораторній установці дозволили зробити висновок про можливість зниження на 16 – 20 дБ максимального значення наведеного імпульсного струму при зменшенні у 3 – 5 разів ширини його спектру. Причому проведений порівняльний аналіз результатів, отриманих під час моделювання на ЕОМ, та фізичного моделювання на лабораторній установці показав, що використання запропонованої розрахунково - експериментальної методики визначення величі затухання, яка вноситься пристроєм захисту, має розбіг з експериментальними даними, який не перевищує 17 – 18 %, що є придатним для інженерних розрахунків.

5. Розроблені практичні рекомендації по підвищенню завадостійкості ліній зв'язку інформаційних систем стали основою для розробки реальних конструкцій пристроїв захисту. При цьому проведена перевірка працездатності пристрою захисту у складі інформаційних каналів зв'язку вимірювальних систем показала їх високу ефективність, а також можливість створення квазігальванічної розв'язки у каналі передачі інформації при вимірі імпульсних сигналів.

6. Розвинуті в дисертаційній роботі методи захисту телекомунікаційних мереж інформаційних систем в умовах дії електромагнітного випромінювання використані в навчальних

планах дисциплін “Комп’ютерні мережі”, “Методи та засоби захисту інформації” и “Основи теорії інформації і кодування” на кафедрі “Системи інформації” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

7. Достовірність и обґрунтованість отриманих в роботі результатів наукових досліджень забезпечується коректністю прийнятих допущень і підтверджується експериментальними даними автора на лабораторному та промисловому обладнанні.

Результати дисертаційної роботи доцільно використовувати:

- при організації передачі інформації в існуючих телекомунікаційних системах;
- при проведенні конструкторських і науково – дослідних робіт, які пов’язані із створенням нових телекомунікаційних мереж;
- при вивчанні дисциплін “Комп’ютерні мережі”, “Методи та засоби захисту інформації”, “Основи теорії інформації і кодування” для підготовки фахівців у ВНЗ України за спеціальністю “Телекомунікаційні системи та мережі”.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ**

1. Бреславец В.С., Кравец В.О., Серков О.А. Розробка методики аналізу впливу електромагнітних перешкоджень на фідерні тракти інформаційних каналів зв’язку обчислювальної техніки. // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я. Збірник наукових праць ХДПУ. - Харків, Вип. 7, ч.3., 1999. - с. 253-256.

2. Бреславец В.С., Кравец В.А., Серков А.А. Разработка расчетно-экспериментальной методики определения параметров модели устройства защиты информационных каналов. // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я. Збірник наукових праць ХДПУ. - Харків, Вип. 7, ч.3., 1999. - с.257-259.

3. Бреславец В.С., Кравец В.О., Серков О.А. Автоматизация расчетов передавальной функции информационного канала зв’язку. Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. - Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, Вип. 1(5), 1999. - с. 63 - 65.

4. Бреславец В.С., Кравец В.О., Серков О.А. Экспериментальне визначення ядер Вольтерра моделі пристрою захиста інформаційних каналів зв’язку. // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. - Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, Вип. 2(6), 1999. - с. 52 - 55.

5. Бреславец В.С., Серков А.А. Моделирование информационных систем с априорной неопределенностью. Вісник Харківського Державного Політехнічного Університету. Збірка наукових праць. - Харків: ХДПУ, № 108, 2000, - с.55-59.

6. Бреславец В.С., Кравец В.О., Серков О.А. Особенности использования элементов защиты фидерных трактов телекоммуникационных сетей. Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. Вип. 1(7). - Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2000 - 192с., с. 151 - 154.

7. Бреславец В.С. Особенности использования метода сингулярных разложений при определении параметров модели устройства защиты. Системы обработки інформації. Збірник наукових праць. - Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, Вип. 3(9), 2000. - с. 37 - 40.

8. Бреславец В.С., Озірна Л.М., Осіпова М.С., Рева І.О., Серков О.А. Запобіжник Патент України № 31021А, БВ №7,2000.

9. Бреславец В.С., Зубко О.О., Серков О.А. Комп'ютерна програма розрахунку передавальної функції "Захист".- Зареєстровано у Державному фонді алгоритмів та програм. 11.10.2000, реєстр. № 605.

10. Бреславец В.С. Разработка методов защиты фидерных трактов информационных систем от действия электромагнитных помех. Вестник национального технического университета "ХПИ". Сборник научных трудов.- Харьков: НТУ "ХПИ", №114, 2001, - с.7-10.

11. Бреславец В.С., Вершков О.Ю., Гладков В.М., Мелентьев М.В., Неймирок Ю.С., Серков О.А. Пристрій для вимірювання напруженості імпульсного електричного поля Патент України № 33220А, БВ №1, 2001.

12. Бреславец В.С., Кравец В.О., Серков О.А. Пристрій захисту коаксіальної лінії зв'язку Патент України № 35915А, БВ №3, 2001.

13. Бреславец В.С., Куцієнко О.О., Серков О.А. Система інформаційного контролю. Патент України № 71487А, БВ №11, 2004.

## АНОТАЦІЯ

**Бреславец В.С. Метод захисту кабельних ліній зв'язку телекомунікаційних мереж від потужних імпульсних електромагнітних завад. - Рукопис.**

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2005.

Розроблена методика та одержані співвідношення для визначення багатомірних передавальних функцій каскадного з'єднання нелінійних інерційних ланцюгів, що дозволило визначити реакцію багатокаскадних нелінійних систем на довільний вплив електромагнітних завад. Проведено оцінку впливу конструкції та нелінійних характеристик пристроїв захисту на амплітудно - часові параметри наведеного струму. Запропонована методика експериментальних досліджень, яка дозволила підвищити достовірність оцінки завадостійкості інформаційних каналів зв'язку від впливу електромагнітних завад. Розроблені, теоретично обґрунтовані та експериментально перевірені технічні пропозиції по підвищенню стійкості провідних ліній зв'язку в умовах дії електромагнітних завад. На ґрунті розроблених методик створено алгоритм і програмне забезпечення "ЗАХИСТ", який дозволяє аналітично визначати похибки, що вносяться до



інформаційного каналу зв'язку нелінійними пристроями захисту, а також проводити адекватний аналіз процесів із заліком нелінійних та інерційних якостей пристроїв захисту.

Порівняння результатів розрахунків із результатами, що одержані за допомогою експерименту, показало, що похибка розрахунків не перевищує 17%, що дає можливість використання створеного програмного забезпечення для подальших розрахунків.

Ключові слова: лінія зв'язку, електромагнітна завада, передавальна функція, пристрій захисту, рекурсивне співвідношення, сингулярний розклад.

## АННОТАЦІЯ

**Бреславец В.С. Метод защиты кабельных линий связи телекоммуникационных сетей от мощных импульсных электромагнитных помех. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2005.

Диссертация посвящена разработке метода защиты кабельных линий связи телекоммуникационных сетей информационных систем от мощных импульсных электромагнитных помех.

Проведенное в диссертационной работе исследование процессов взаимодействия электромагнитных помех с протяжёнными коаксиальными линиями связи с последующим анализом результатов взаимодействия показал недостаточную эффективность используемых устройств защиты и необходимость их дальнейшего усовершенствования.

В связи с тем, что все используемые устройства защиты имеют нелинейные характеристики, то в работе исследованы нелинейные инерционные процессы, возникающие в протяжённых коаксиальных линиях связи с устройствами защиты. Для учёта нелинейного характера процессов использован математический аппарат функциональных рядов Вольтерра.

При этом для определения эффективности использования нелинейных устройств защиты предложено использовать ядра Вольтерра в качестве критерия их эффективности. Созданная методика определения ядер Вольтерра каскадного соединения произвольного конечного количества нелинейных звеньев линии связи позволила существенно расширить аналитические возможности и область использования математического аппарата функциональных рядов Вольтерра.

При этом получено рекурсивное выражение для определения многомерных передаточных функций каскадного соединения нелинейных инерционных звеньев, что позволило определить реакцию многокаскадного соединения нелинейных систем на произвольное воздействие электромагнитных помех. Проведена оценка влияния конструкции и нелинейных характеристик устройств защиты на амплитудно - частотные характеристики наведенного тока. Предложена

методика экспериментальных исследований, которая позволила повысить достоверность оценки помехозащищенности информационных каналов связи в условиях действия электромагнитных помех. Разработаны, теоретически обоснованы и экспериментально проверены технические предложения по повышению стойкости проводных линий связи в условиях действия электромагнитных помех.

В частности эти устройства

- имеют постоянную готовность к работе;
- не влияют на характеристики передаваемого по линии связи сигнала;
- не снижают механическую прочность линии связи;
- эффективно работают с существующими устройствами защиты.

На базе разработанных методик созданы алгоритмы и программное обеспечение “ЗАХИСТ”, позволяющий аналитически определять величины искажений, вносимых в информационный канал связи нелинейными устройствами защиты, а также проводить адекватный анализ процессов с учетом нелинейных и инерционных свойств используемых средств защиты.

Сравнение результатов расчета с результатами, полученными с помощью эксперимента, показало, что погрешность вычисления не превышает 17%, что говорит о возможности применения созданного программного обеспечения для дальнейших расчетов.

Разработанные практические рекомендации по повышению помехоустойчивости линий связи информационных систем стали основой для разработки устройств защиты. При этом проведенная проверка работоспособности устройств защиты в составе информационных каналов связи измерительных систем показала их высокую эффективность защиты (снижение наведенного тока на 16 – 20 дБ), и возможность осуществления квазигальванической развязки канала передачи информации при измерении импульсных сигналов.

Ключевые слова: линия связи, электромагнитная помеха, передаточная функция, устройство защиты, рекуррентное соотношение, сингулярное разложение.

## ABSTRACT

**Breslavets V. S. A method for protection of cable communication lines of telecommunication networks for power impulse electromagnetic interferences.** - Manuscript.

Thesis for degree of Candidate of Technical Sciences, specialty 05.12.02 - communication systems and networks. Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkov, 2005.

A technique was developed with certain quantitative relations for calculation of multidimensional transmission functions for cascade connections of non-linear slow-response units. It allows determining reaction of multiple cascade connection of non-linear systems on arbitrary electro-magnetic interference. Estimations were given as to the influence of structure and non-linear properties of protection devices on

amplitude/frequency properties of noise current. Included also is an experimental technique improving reliability of estimations of noise protection degree of informational communication channels in noise conditions. Technical proposals concerning increase of noise resistance of wire communication lines were developed and theoretically grounded. On the basis of the above mentioned technique algorithms and software package "ЗАХИСТ" were created. They allow either analytical calculation of error values introduced into a communication channel by non-linear protection devices or adequate analysis of the processes taking into account non-linear and inertial properties of protection devices being used.

The error of analytically calculated results was no more than 17 % in comparison to the experimental data, which makes the software applicable for further calculations.

Key words: communication line, electro-magnetic noise, transmission function, protection device, recurrent relation, singular decomposition.