

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

**Дудка Олександра Олександрівна**

УДК 621.391.7

**ОЦІНКА ЗАХИЩЕНОСТІ КАБЕЛЬНИХ КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ  
ІНФОРМАЦІЇ ВІДОМЧИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ ТА ЗАСОБИ ЇЇ  
ПІДВИЩЕННЯ**

05.13.21 – системи захисту інформації

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків - 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор **Шокало Володимир Михайлович**, Харківський національний університет радіоелектроніки МОН України (ХНУРЕ), завідувач кафедри основ радіотехніки.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Карпуков Леонід Матвійович**, Запорізький національний технічний університет МОН України, завідувач кафедри захисту інформації

кандидат технічних наук, доцент **Логвиненко Микола Федорович**, Харківський національний університет внутрішніх справ МВС України, начальник кафедри інформаційної безпеки.

Захист відбудеться “16” листопада 2010 р. о 13-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.052.05 в Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, проспект Леніна, 14, ауд. № 13.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, проспект Леніна, 14.

Автореферат розісланий “    ” жовтня 2010 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради, проф., д.ф-м.н. \_\_\_\_\_ Рожицький  
М.М.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### Актуальність теми.

Концепція технічного захисту інформації (ТЗІ) в Україні, яка затверджена в 1997 р. відповідною Постановою Кабінету Міністрів України, визначає основні напрями розвитку технічного захисту інформації в тому числі і в відомчих системах зв'язку (ВСЗ). Для відомчих мереж сучасним напрямком розвитку є досягнення можливості передачі захищеної мультимедійної інформації по існуючим кабельним лініям зв'язку (КЛЗ) за рахунок впровадження *xDSL* технологій. При впровадженні *xDSL* технологій частота сигналу при передачі інформації зростає до *100 МГц*. Одночасно зменшується і коефіцієнт екранування КЛЗ (КЕ), тобто зростає їх здатність випромінювати і приймати радіохвилі. Це призводить до створення паразитних (відвідних) радіоканалів. Для визначення захищеності провідного каналу зв'язку необхідно знати не лише КЕ, але і напругу завади, за якої припиняється функціонування каналу. Для випадку каналів зв'язку на основі *xDSL* технологій таких даних немає і відсутні також описи експериментів щодо їх визначення.

При розгляді завдань оцінки захищеності провідної інфраструктури необхідно враховувати розміщення КЛЗ у різних матеріальних середовищах: під землею, над землею (вертикально і горизонтально) та всередині будівель. Моделі, що описують випромінювання з КЛЗ при розміщенні їх у різних середовищах, поки що в літературі не описані.

Розвиток сучасних ВСЗ пов'язаний з підвищенням вимог до їх захищеності. Одним із стримуючих чинників цього розвитку є відсутність на момент початку робіт над дисертацією цілого ряду вищезгаданих досліджень завадозахищеності і скритності КЛЗ. Сучасною теоретичною основою для створення моделей оцінки захищеності цифрових систем передачі інформації (ЦСП) є запропонована А. Вайнером концепція відвідного каналу (ВК). Проте для випадку провідних ЦСП ця концепція поки що не розвинена. Усі перераховані обставини вказують на актуальність теми дисертації.

### Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота пов'язана із дослідженнями, виконаними в ХНУРЕ за держбюджетною темою відповідно до плану МОНУ № 199 «Фундаментальні дослідження складових інтегрованої радіоелектронної системи управління об'єктами, що рухаються» (№ д/р 0106U003151) і за держбюджетною темою Державного фонду фундаментальних досліджень МОНУ Ф25/217-2008 «Теоретичні та експериментальні дослідження багатопроменевого поширення електромагнітних хвиль радіоканалів інтегрованих цифрових систем передачі

інформації на рівні *LAN* і *MAN*» (№ д/р 0108U007884). У цих НДР здобувач був виконавцем робіт.

**Мета і задачі дослідження.** Мета роботи полягає в розробці у межах концепції відвідного каналу методів та засобів для наближеного аналізу, експериментальних досліджень та створення мультимедійних *xDSL* каналів відомчих систем зв'язку з високими показниками завадозахищеності і скритності.

**Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:**

1. Розробити підхід до аналізу захищеності провідних *MIMO* (*Multiple Input Multiple Output*) систем зв'язку з втратами на випромінювання і еквалізацією  $N$  каналів передачі інформації як до систем з  $N$  каналами, що не взаємодіють.

2. Створити моделі відвідного каналу для оцінки захищеності одноканальних *xDSL* кабельних каналів зв'язку, що дозволяють на відміну від відомих, оцінити завадостійкість і скритність різних ділянок інфраструктури КЛЗ (прокладених під землею, у вертикальних бетонних колодязях і приміщеннях будівель).

3. Застосувати розроблені моделі для чисельного аналізу захищеності *xDSL* кабельних каналів зв'язку при передачі по них мультимедійної інформації.

4. Розробити методики, вимірювальну установку і провести натурний експеримент для отримання нових даних: про величину вірогідності бітової (*BER*) та пакетної (*PER*) помилок в *xDSL* каналі зв'язку при різних рівнях завад у КЛЗ; про рівень граничної напруги завад, при якій канал зв'язку перестає функціонувати; про рівні і частоти побічного електромагнітного випромінювання в *xDSL* каналах зв'язку, що знижують їх скритність і знаходяться поза спектром лінійного сигналу.

5. Розробити технічні рішення пристроїв для підвищення захищеності кабельних каналів зв'язку ВСЗ.

**Об'єктом дослідження** є процеси випромінювання і прийому електромагнітних хвиль в кабельних каналах зв'язку.

**Предметом дослідження** є моделі оцінки захищеності кабельних каналів передачі інформації відомчих систем зв'язку та розробка засобів її підвищення.

**Методи досліджень.** Використано методи: мікрохвильових кіл і теорії антен; математичне та імітаційне моделювання на ЕОМ; методи математичної статистики; методи натурального експерименту.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в наступному:

1. На основі концепції ВК уперше запропоновано підхід до визначення характеристик захищеності *xDSL* КЛЗ, заснований на приведенні  $N$ -канальних *MIMO* провідних систем зв'язку до  $N$  незалежних *SISO* (*Single Input Single*

*Output*) систем і поданні останніх у вигляді антен біжучої хвилі (АБХ), що дало змогу створити моделі ВК для розрахунку захищеності різних ділянок інфраструктури КЛЗ (наземних і підземних).

2. Уперше вивчено частотні і кутові характеристики інтенсивності поля випромінювання *xDSL* кабельних каналів зв'язку і напруги завади на вході модему, яка наводиться діючими радіоелектронними засобами та з'ясовані варіанти взаємного розташування КЛЗ і постановника завад, а також КЛЗ і виявляча (приймача порушника), при якому порушник найефективніше знижує захищеність каналу зв'язку.

3. Уперше виявлено ефект адаптації *xDSL* каналу зв'язку до різних рівнів одночастотної завади в ефективній смузі частот, що дозволяє адаптувати фільтри ЦСП до нового рівня завад і тим самим підвищити її завадозахищеність.

4. Удосконалено методику і структурну схему вимірів *BER*, що відрізняється від відомих кількістю каналів, та дає змогу визначати рівень допустимої напруги завад  $U_{zo}$  в *xDSL* багатоканальних мультимедійних ЦСП.

5. Уперше отримано новий експериментальний матеріал про допустимий рівень напруги завади  $U_{zo}$  в *xDSL* КЛЗ, при якому функціонування каналу припиняється, що дає можливість розробникам ВСЗ оцінити приблизний рівень радіозавад, які порушують працездатність системи зв'язку.

6. Уперше отримано фактичний матеріал про значення *BER* і *PER* в *xDSL* кабельному каналі зв'язку при дії різних радіочастотних завад, а також про конфігурацію і розміри зон виявлення наземних та підземних ділянок інфраструктури КЛЗ, що дає змогу на новому рівні вирішувати організаційно-технічні задачі ТЗІ.

7. Уперше експериментально виявлено побічне електромагнітне випромінювання КЛЗ на частотах гармонік тактових генераторів ЦСП, що дає можливість розробникам ВСЗ враховувати цей факт при оцінці скритності ЦСП.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в наступному.

1. Уперше запропоновано такі рекомендації та технічні рішення для підвищення захищеності *xDSL* КЛЗ: застосування фазообертачів у решітках кабельних ліній *VDSL* каналів зв'язку; застосування цифрового адаптивного фільтра радіочастотних завад у модемах ЦСП; попереднє налаштування входних фільтрів ЦСП (до синхронізації модемів) на діючий рівень завад, що дозволяє збільшити завадозахищеність каналу зв'язку у декілька разів.

2. Наукові принципи і методики виміру величини *BER* і  $U_{zo}$ , розроблені в дисертації, впроваджено при модернізації центру обслуговування викликів (ЦОВ) служби «102» ГУМВС м. Харкова (акт впровадження додається).

3. Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес кафедри основ радіотехніки ХНУРЕ під час проведення лекцій з курсу «Захист інформації в інформаційних мережах», що підтверджено відповідним актом впровадження.

**Обґрунтованість та достовірність результатів** дисертаційної роботи обумовлена: усебічною їх перевіркою при чисельних і натурних експериментах, коректним використанням при створенні моделей відвідних радіоканалів методів електродинаміки, теорії антен і цифрового зв'язку, а також позитивними результатами натурних випробувань у відомчій системі зв'язку ЦОВ служби «102» ГУМВС м. Харкова.

**Особистий внесок здобувача.** Усі результати дисертації, які виносяться на захист, отримано автором особисто. В роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить: розробка теоретичного і науково-практичного підходу до вирішення завдань моделювання відвідних каналів провідних ЦСП [1, 4]; розробка і дослідження математичної моделі захищеності провідних каналів зв'язку ЦСП [5-7]; проведення чисельних і натурних експериментів [1-7]; обґрунтування і розробка нових апаратних рішень для підвищення захищеності провідних каналів ЦСП [2, 7].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати і положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на 14-ти міжнародних конференціях, зокрема, на: X-му, XIII-му Міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка та молодь у XXI сторіччі» (м. Харків, 2005, 2009 р.); 8-й Міжнародній НПК «Сучасні інформаційні електронні технології» /CIET'2007/ (м. Одеса, 2007 р.); Всеукраїнській науково-практичній відеоконференції «Актуальні питання дистанційної освіти та медицини 2007» (м. Запоріжжя, 2007 р.); IX International Conference Modern problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science /TCSET'2008/ (Lviv-Slavsko, 2008 р.); III-й, IV-й, V-й Міжнародній молодіжній НТК «Сучасні проблеми радіотехніки і телекомунікації» /PT-2008/, /PT-2009/, /PT-2010/ (м. Севастополь, 2008, 2009, 2010 р.); IV-й, VI-й Міжнародній НПК «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікації та інформаційних технологій» /PTIT-2008/, /PTIT-2010/ (м. Запоріжжя, 2008, 2010 р.); Міжнародній конференції «Сучасні і перспективні системи радіолокації, радіоастрономії і супутникової навігації» (м. Харків, 2008 р.); 7<sup>th</sup> International Conference on Antenna Theory and Techniques /ICATT'09/ (Lviv, 2009 р.); Міжнародній НТК «Проблеми телекомунікації» (м. Київ, 2010 р.); 20-й Міжнародній Кримській конференції «СВЧ-техніка і телекомунікаційні технології» /CriMiCo'2010/ (м. Севастополь, 2010 р.).

**Публікації.** Матеріали дисертаційної роботи опубліковані в 7 статтях у

виданнях, що входять до переліку ВАК України, а також у 14-ти тезах доповідей.

**Структура дисертаційної роботи.** Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (87 найменувань) і 2 додатків. Робота містить 141 сторіноку, 81 рисунок, 11 таблиць, включаючи додатки обсягом 2 сторінки.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі досліджень. Визначено наукову новизну роботи та її практичне значення. Наведено дані про особистий внесок автора в роботах, виконаних у співавторстві, апробацію результатів дисертації та відомості про публікації за темою дисертації.

У першому розділі дисертації розглянуто стан і напрямок розвитку теорії та практики побудови захищених провідних цифрових систем передачі інформації для ВСЗ України. В результаті проведеного дослідження зроблено висновки, які визначені в актуальності роботи. На основі зазначених висновків для вирішення задач досліджень у дисертації запропоновано використати підхід, який базується на поданні ВСЗ як радіотехнічної системи. Фрагмент цієї системи показано на рис. 1.

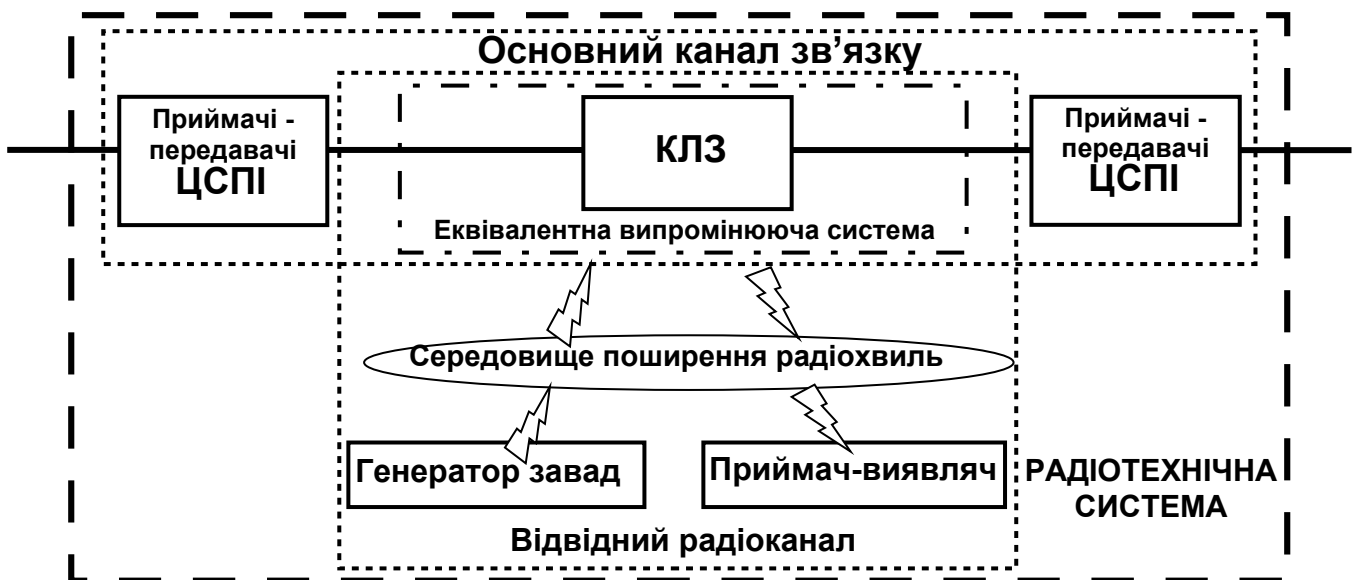


Рис. 1. Структура фрагмента радіотехнічної системи

Наведений фрагмент радіотехнічної системи складається з ЦСП, сполучених кабельною лінією зв'язку. Внаслідок ефекту кінцевого екранування КЛЗ є деякою еквівалентною випромінюючою системою, що разом з середовищем поширення радіохвиль (ПРХ) та генератором завад і приймачем-виявлячем порушника утворюють відвідний радіоканал.

Застосовуючи такий підхід можна визначити характеристики скритності ЦСП. Якщо ж задано джерело радіозавад, тобто визначено і амплітудно-фазовий розподіл уздовж екранної оболонки кабелю, то, використовуючи описаний підхід, можна вирішити задачу про знаходження характеристик завадозахищеності ЦСП.

Міру скритності каналу зв'язку визначатимемо через радіус зони виявлення (ЗВ). Відстань від центру системи координат до меж ЗВ при будь-якому азимутному куті  $\varphi$  обчислювалася за формулою



$$R(\varphi) = (\lambda / 4\pi) \sqrt{G_{PP} G_{\Sigma}(\varphi) P_{\Sigma}} / (P_{PP} \eta)^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі;  $G_{PP}, G_{\Sigma}$  – коефіцієнти посилення антен приймача-виявляча і еквівалентної антени КЛЗ;  $P_{\Sigma}$  – потужність випромінювання КЛЗ;  $P_{PP}$  – чутливість приймача-виявляча;  $\eta$  – ККД каналу зв'язку.

Ця формула справедлива при співвідношенні сигнал/шум на вході приймача-виявляча, рівним 1, тобто на межі ЗВ, у радіусі якої можливе перехоплення інформації. Для визначення залежності якості відеоінформації, що передається по КЛЗ, від рівня впливаючих завад у дисертації використовується вірогідність бітової ( $BER$ ) і пакетної ( $PER$ ) помилки. Для випадку багаторівневої амплітудно-імпульсної модуляції  $M$ -PAM, яка використовується в  $xDSL$  технологіях

$$BER = P_e = (2(M - 1)/M) Q\left(\sqrt{3 \text{SNR} / (M^2 - 1)}\right), \quad (2)$$

де  $M$  – кількість рівнів кодування;  $Q(x) = \int_x^{\infty} (1/2\pi) \exp(-0,5y^2) dy$  – інтеграл

помилки Гаусса;  $\text{SNR} = P_C / (P_{AWGN} + P)$  – відношення сигналу до суми шуму та завади;  $P_C$  – потужність сигналу ЦСПІ;  $P_{AWGN}$  – потужність білого шуму;  $P_3$  – потужність радіочастотної завади.

Вірогідність пакетної помилки  $PER$  визначається виразом

$$PER = 1 - (1 - BER)^L, \quad (3)$$

де  $L$  – довжина інформаційного пакета.

Викладений підхід дає змогу, використовуючи відомі теоретичні методи дослідження радіотехнічної системи в частині цифрової обробки сигналів, теорії випромінювання і поширення радіохвиль, а також розрахунків їх завадозахищеності і скритності, вирішити такі задачі: моделювання магістрального кабелю у вигляді підземної антени; моделювання вертикального магістрального кабелю у вигляді антени-кабелю; моделювання горизонтальної структури абонентської КЛЗ у вигляді низькорозміщеної випромінюючої системи. При цьому показано, що навіть у разі  $MIMO$  систем з ортогональними каналами завдання аналізу захищеності КЛЗ можуть бути розглянуті як завдання дослідження скритності і завадозахищеності кабелю з однією парою проводів і кінцевим значенням коефіцієнта екранування.

**У другому розділі** основна увага приділена дослідженню захищеності та скритності магістрального кабелю з  $SHDSL$  технологією. В ньому представлена нова модель відвідного каналу відрізка магістрального кабелю у вигляді підземної антени біжучої хвилі (рис. 2). Ця модель є більш універсальною в

порівнянні з відомими і дозволяє розрахувати не лише завадозахищеність, але і скритність кабельного каналу зв'язку, з урахуванням його характеристик спрямованості.

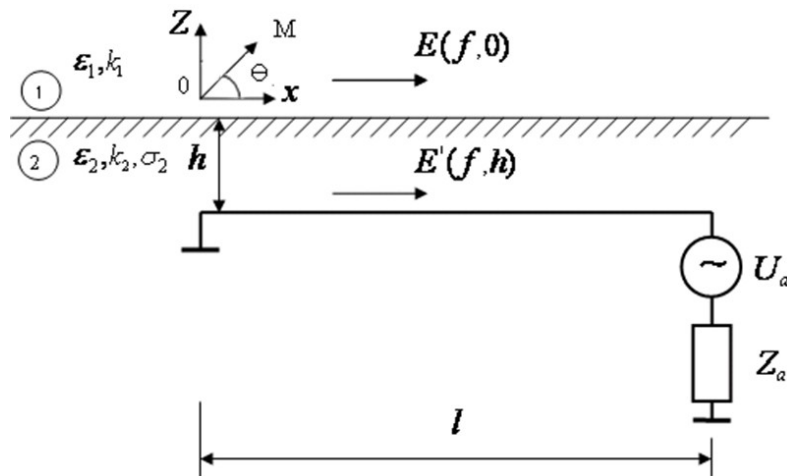


Рис. 2. Еквівалентне подання кабелю зв'язку у вигляді антени біжучої хвилі

На рис. 2:  $\varepsilon_i, \sigma_i$  – матеріальні параметри середовища 1 (повітря) і середовища 2 (грунт);  $k_i$  – хвильові коефіцієнти;  $x, z$  – координати;  $M$  – точка спостереження;  $h$  – глибина прокладки кабелю, а  $l$  – його довжина. Власне антеною є зовнішня оболонка (провід) кабелю, яка навантажена на хвильовий опір проводу  $Z_x$ .

Напруга завади  $U_3$ , що виділяється на вході модему:

$$U_3 = (2 / \beta_{\text{л}} l) \sqrt{K_E} \xi_3 |\sin(0,5 \beta_{\text{л}} l)|, \quad (4)$$

де  $\beta_{\text{л}} = 2\pi / \lambda_{\text{л}}$  – фазова постійна;  $\lambda_{\text{л}}$  – довжина хвилі в кабелі;  $l$  – довжина кабелю;  $K_E = P_e / P_C$  – коефіцієнт екранування кабелю;  $P_e$  – потужність випромінювання антени з електрорушійною силою випромінювання  $\xi_a$ ;  $P_C$  – потужність передавача модему при напрузі сигналу  $U_C$  на входному опорі ЦСП  $Z_M$ ;  $\xi_3 = E\check{\Upsilon}(f, h) h_0$  – електрорушійна сила завади.

У дисертації отримано такі співвідношення:

$$\xi_a = (2 / \beta_{\text{л}} l) \sqrt{K_E} U_C |\sin(0,5 \beta_{\text{л}} l)|, \quad (5)$$

напруженість поля випромінювання на глибині  $h$  і при частоті  $f$

$$E\check{\Upsilon}(f, h) = \xi_a / h_0, \quad (6)$$

де  $h_0 = \int_0^1 \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \frac{1}{r^2} \sin\theta \cos\theta \cos\varphi \cdot e^{-\gamma r} \left( e^{i\psi(k_1 r \cos\theta - \gamma r)} - 1 \right) \frac{1}{r} \frac{1}{\sin\theta} d\theta d\varphi dr$  – діюча висота антени;  $\gamma = \alpha - i\beta$  – постійна поширення;  $\theta, \varphi$  – меридіанний та азимутальний кути.

Сукупність прийнятих наближень і наведених співвідношень є новою моделлю відрізка кабелю каналу зв'язку у вигляді підземної антени біжучої хвилі.

Протягом чисельних досліджень отримано такі нові дані про захищеність вітчизняних телекомунікаційних кабелів: уперше визначені параметри скритності однопарної КЛЗ; з'ясовано, що форма ЗВ співпадає з діаграмою спрямованості КЛЗ, причому максимальна величина змінюється від 400 до 0,1 м зі збільшенням частоти від 1 до 100 МГц і довжини КЛЗ 1 км (рис. 3); уперше також з'ясовані рівні напруженості поля перешкоди, за яких руйнується робота одного каналу у разі передачі мультимедійної інформації; показано, що ці рівні лежать у межах (4,6÷6) В/м на частоті 1 МГц (рис. 4).

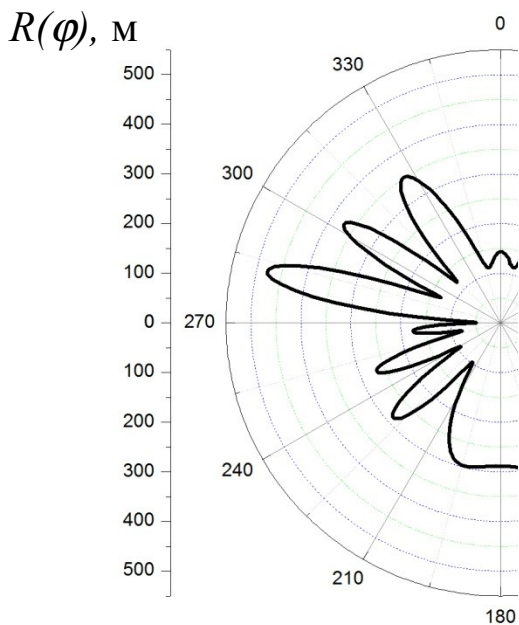


Рис. 3. Залежність радіусу ЗВ від кутових координат при частоті 1 МГц

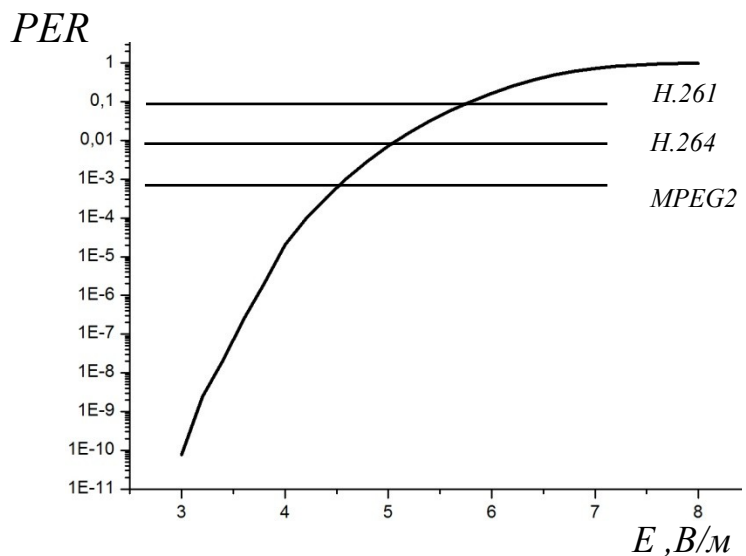


Рис. 4 Залежність значень PER від напруженості електричного поля E

Наведені дані дозволяють виявити напрями, найбільш небезпечні з точки зору або дії RFI, або розташування приймача-виявляча. Викладені результати справедливі для одного з двох напрямів передачі, оскільки SHDSL канали зв'язку працюють в дуплексному режимі.

Описані кількісні результати не носять загальний характер, але розкривають фізичну суть тих процесів, що відбуваються в підземних кабельних SHDSL каналах передачі інформації, які впливають на їх скритність і завадозахищеність.

Отримані результати є важливими для планування організаційно-технічних заходів щодо створення охоронної зони ВСЗ, особливо під час реалізації *MIMO* проводових систем, оскільки розміри зони виявлення в цьому випадку можуть вирости приблизно в 50 разів.

У третьому розділі розроблено моделі відвідних каналів для дослідження захищеності однопарних КЛЗ, що входять до складу наземної інфраструктури ВСЗ. Спочатку розглядається захищеність вертикально розташованого кабелю з *SHDSL* технологією передачі даних. Модель відвідного каналу для вертикальної КЛЗ подано у вигляді кабельної антени діаметром  $2a$ , прокладеної в циліндричній повітряній порожнині будівлі з внутрішнім діаметром  $2b$  і товщиною стінки  $h$  (рис. 5).

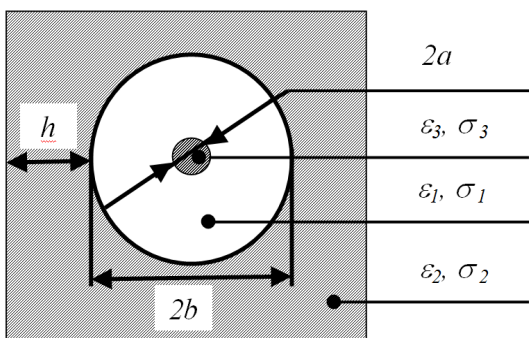


Рис. 5. Вид зверху на колодязь з вертикальною КЛЗ

Як і в розділі 2, для створення моделі прогнозування захищеності наземних КЛЗ використовувалося подання останніх у вигляді антени біжучої хвилі, та описується формулами, наведеними в розділі 2, за винятком виразу для хвильового опору, який залежить від матеріальних параметрів середовищ  $\varepsilon_i, \sigma_i$ .

Проведені за розробленою моделлю чисельні дослідження показали, що вертикальна кабельна лінія зв'язку слабо впливає на скритність КЛЗ, а за рівнем завадозахищеності вертикальні КЛЗ можна порівняти з підземними (рис. 6).

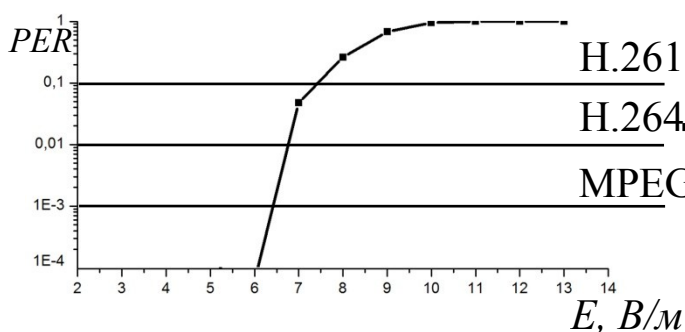


Рис. 6. Графік залежності  $PER$  від напруженості поля на поверхні стінки будівлі при частоті  $f=1$  МГц,  $l=10$

м

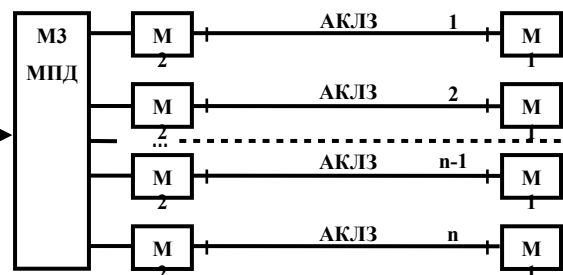


Рис. 7. Структурна схема абонентського проводового доступу

Зона виявлення має таку ж форму, як і діаграма спрямованості елементарного вібратора, при цьому  $R_{max}(\theta) = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  на частоті  $1 \text{ МГц}$ .

Далі в дисертації розглянуто модель абонентських горизонтальних КЛЗ з *VDSL* технологією передачі інформації. Абонентські кабельні лінії зв'язку (АКЛЗ) зв'язують модеми споживачів (М1) з модемами (М2) концентратора (мультиплексора М3) *VDSL* ліній зв'язку, який розподіляє магістральний потік даних (МПД) на цифрові потоки абонентів мережі доступу (рис. 7).

Далі скористаємося відомим з розділу 2 поданням кабелю у вигляді АБХ, низькорозміщеної на висоті  $h$  ( $h \ll \lambda$ ) над межею розділу двох середовищ (стеля будівлі, повітря), що відповідає конструктивному виконанню інфраструктури кабельної мережі системи абонентського доступу в будівлях. В основному ці мережі підвішені під бетонною стелею.

Таблиця 1. Види фазового розподілу

| № варіанта | Значення фази $\psi$ , град | № елемента решітки |     |   |     |     |     |
|------------|-----------------------------|--------------------|-----|---|-----|-----|-----|
|            |                             | 1                  | 2   | 3 | 4   | 5   | 6   |
| 1          | я                           | 0                  | 0   | 0 | 0   | 0   | 0   |
| 2          |                             | 0                  | 180 | 0 | 180 | 0   | 180 |
| 3          |                             | 0                  | 0   | 0 | 180 | 180 | 180 |
| 4          |                             | випадкове          |     |   |     |     |     |

У загальному випадку  $N$  горизонтальних АКЛЗ є антенними решітками з однаково орієнтованих однотипних випромінювачів. Діаграма спрямованості решітки залежить від виду амплітудно-фазового розподілу (АФР) уздовж її розкриву (табл. 1).

Діаграма спрямованості решітки з кроком  $d$  визначалася як добуток діаграми спрямованості одиночного випромінювача на множник решітки

$$f_N(\varphi) = \mathbf{e} \prod_{i=0}^{N-1} a_i e^{i\psi_i} e^{-i\beta r_i}, \quad (7)$$

де значення  $a_i$ ,  $\psi_i$  характеризують амплітудний та фазовий розподіл струмів решітки, а  $\Delta r_i$  – взаємне розташування випромінювачів системи ( $\Delta r_i = d(i-1)\cos\varphi$ ).

Вважаючи, що дана решітка є решіткою з однаковою амплітудою, були проведені розрахунки ЗВ для чотирьох видів фазового розподілу (табл.1) при  $N=6$ . Метою розрахунків було визначення способів підвищення скритності системи зв'язку. З наведених даних (табл.2) випливає, що неекрановану АКЛЗ не можна використовувати в цифрових системах передачі у разі синфазного живлення кабелів, оскільки при цьому зона виявлення виходить дуже великою.

При повному розфазуванні кабелів (варіант 4, табл.2) максимальний радіус ЗВ зменшується приблизно вдвічі. Цей результат був отриманий під час розрахунків методом Монте-Карло.

Значення величини пакетної помилки *PER* у провідному каналі зв'язку на основі *VDSL* технології з модуляцією *QAM - 256*, наведені на рис. 8,

визначалися в точці максимуму діаграми спрямованості.

Таблиця 2. Максимальні радіуси ЗВ для різних видів фазового розподілу

|                                   |                | № варіанта фазового розподілу за табл. 1 |                      |                      |          |
|-----------------------------------|----------------|--|----------------------|----------------------|----------|
|                                   |                | 1  | 2                    | 3                    | 4        |
| Неекранована АКЛЗ                 |                |  |                      |                      |          |
| $R_{max, M}$<br>при $l=30$<br>$m$ | $f=1$ МГц      | 17320,50                                 | 38,17                | 114,66               | 9698,78  |
|                                   | $f=10$ МГц     | 23458,20                                 | 7753,39              | 26506,20             | 23458,20 |
|                                   | $f=100$<br>МГц | 5055,79                                  | 13959,30             | 5625,09              | 9632,86  |
| Екранована АКЛЗ                   |                |  |                      |                      |          |
| $R_{max, M}$<br>при $l=30$<br>$m$ | $f=1$ МГц      | 396,69                                   | 0,8743               | 2,63                 | 94,61    |
|                                   | $f=10$ МГц     | 0,1195                                   | 0,0395               | 0,1350               | 0,0074   |
|                                   | $f=100$<br>МГц | 0,0155                                   | $5,52 \cdot 10^{-4}$ | $1,08 \cdot 10^{-6}$ | 0,0219   |

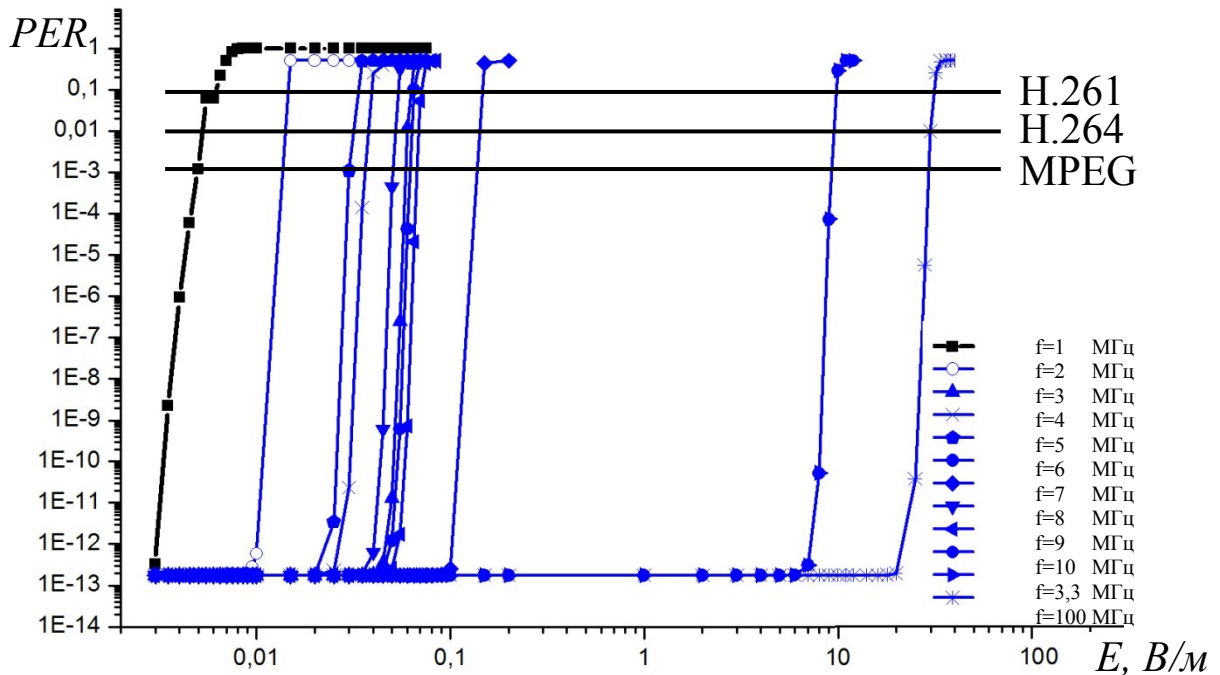


Рис. 8. Залежність  $PER$  для екранованого кабелю від напруженості поля завади  $E$  при різній частоті завади  $f$ , при  $l=90$  м,  $\varepsilon=6$

Із збільшенням напруженості поля перешкоди величина  $PER$  різко наближається до одиниці, тобто якість передачі мультимедійної інформації швидко погіршується. Про цей факт можна судити з порівняння на рис. 8 розрахованих кривих і прямих допустимих значень  $PER$  для різних стандартів передачі відеоінформації ( $H.261$ ,  $H.264$ ,  $MPEG2$ ).

На підставі результатів чисельних експериментів запропоновано такі способи підвищення скритності КЛЗ: застосування екранованих кабелів з підвищеним коефіцієнтом екранування; використання КЛЗ, у яких довжина кратна цілому числу довжин хвиль у лінії; реалізація синфазного живлення

АКЛЗ, наприклад, за допомогою установки фазообертачів з фазовим зрушенням  $180^\circ$  у кожній парній КЛЗ розподільної системи.

**Четвертий розділ** присвячено вирішенню задач створення методики, вимірювальної установки та проведенню експериментів з визначення величини  $BER$ ,  $U_{зд}$  і рівня побічного електромагнітного випромінювання, а також розробці засобів підвищення захищеності ВСЗ.

Залежності  $U_{зд}(f)$  вимірювалися двома способами (рис. 9):

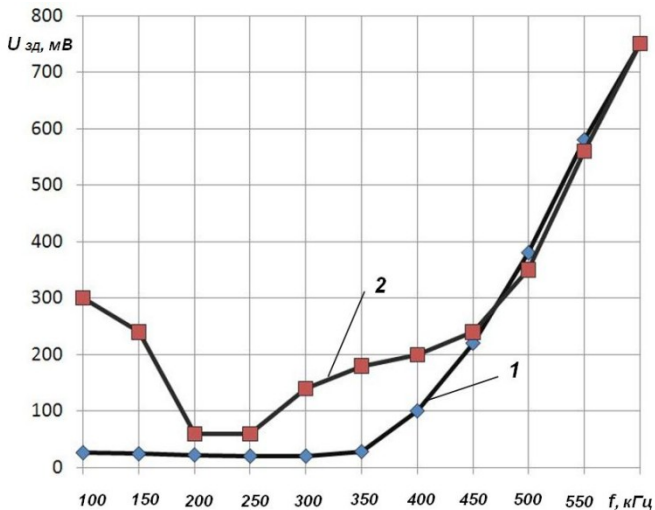


Рис. 9 Графік залежності напруги завад  $U_{зд}$  від частоти  $f$ : 1 – до обриву каналу зв'язку; 2 – до відновлення каналу зв'язку

відомим (крива 1), коли завада діяла на синхронізований канал зв'язку і спричиняла його розрив при збільшенні її напруги, та новим – коли завада вже діяла на канал до включення модемів. При цьому величина  $U_{зд}$  вимірювалась тільки тоді, коли синхронізація модемів зривалася при їх включенні (крива 2). З отриманих результатів випливає, що  $xDSL$  канал адаптується до діючої величини завади, що обумовлює доцільність попереднього налаштування фільтрів модемів на виміряну напругу  $U_{зд}$ .

Далі ця рекомендація була використана для фіксованого попереднього налаштування фільтрів модемів, які діяли в структурі ЦОВ служби «102» ГУМВС м. Харкова. Експериментально підтверджено, що такий крок дав змогу підвищити на ряді напрямів співвідношення сигнал/завада на  $(2\div3)$  дБ і зробити зв'язок надійнішим.

Запропоновано також нове технічне рішення адаптивного фільтра модему, засноване на виявленому ефекті адаптації рівня синхронізації ЦСПІ до діючого рівня завад. Типовий канал передачі центрального терміналу (ЦТ) включає кодер, фреймер, прекодер, цифровий фільтр, цифро-аналоговий перетворювач, передавач. Вихідний сигнал передавача через диференціальну систему і лінійний трансформатор поступає в КЛЗ. Канал прийому ЦТ включає приймач, аналогово-цифровий перетворювач, адаптивний коректор, схему ехокомпенсації і декодер. При ініціалізації (включенні) системи зв'язку на конкретній КЛЗ модеми ЦТ і віддаленим терміналом обмінюються інформацією для налаштування як вихідних, так вхідних параметрів фільтрів.

Це дозволяє компенсувати втрати в лінії зв'язку і завади, які діють в цьому проводовому каналі зв'язку. Недоліком такої структури є те, що при зміні завадової обстановки (зміна частоти і рівня завади, поява нових джерел завад) можуть істотно відобразитися на роботі каналу зв'язку аж до повної його відмови, що неприпустимо під час роботи ВСЗ.

З метою усунення цього недоліку запропоновано виділяти сигнали в КЛЗ, викликані *RFI*, і використовувати їх для компенсації завад у каналі прийому. Для цього сигнал завади з КЛЗ поступає через розв'язуючий підсилювач на блок фільтрації завад, що має два канали цифрової обробки: основного каналу і каналу завади. Основний сигнал приймача і сигнал завади піддається швидкому перетворенню Фур'є для переходу в частотну область і визначення спектра завади. У блоці цифрового сигнального процесору відбувається віднімання із спектра лінійного сигналу спектра завади. Блок зворотного швидкого перетворення Фур'є дозволяє перейти в часову область і продовжити обробку сигналу, «очищеного» від завад.

Запропонована схема дозволяє ефективно реагувати і пригнічувати завади, які виникають за рахунок *RFI* в КЛЗ, тобто підвищує завадозахищеність ЦСП.

У розділі також проведено експериментальні дослідження і отримано нові дані рівня побічного електромагнітного випромінювання, які створюють сучасні ЦСП на основі *xDSL* технологій. Аналіз результатів вимірів напруженості поля завад показує, що ЦСП на основі *SHDSL* технологій окрім випромінювання, викликаного проходженням лінійного сигналу по КЛЗ, має ряд локальних максимумів побічного електромагнітного випромінювання на частотах (гармоніках вищих порядків), викликаних роботою тактових генераторів ЦСП. Вони співвимірні з випромінювання КЛЗ, тобто, істотно знижують скритність системи зв'язку.

## ВИСНОВКИ

У дисертації представлено нове рішення актуальної науково-технічної задачі, пов'язаної з розробкою у межах концепції ВК методів та засобів для наближеного аналізу, експериментальних досліджень та створення мультимедійних *xDSL* каналів зв'язку ВСЗ з високими показниками завадозахищеності і скритності.

Головний результат дисертації полягає в розробці нового підходу до створення спрощених моделей для оцінки захищеності проводових *MIMO* систем шляхом їх приведення (у разі ортогональних каналів) до сукупності незалежних *SISO* систем з наступним поданням еквівалентного випромінювача ВК у вигляді антени біжучої хвилі.

На основі цього підходу в роботі отримані такі нові наукові результати.

1. Уперше для прогнозування захищеності різних ділянок розгалуженої



структури КЛЗ ВСЗ з єдиних позицій теорії антен у середовищах, що напівпроводять, створено три моделі відповідних каналів: модель ВК магістрального підземного кабелю *SHDSL* каналу зв'язку; модель ВК розподільного вертикального кабелю *SHDSL* каналу зв'язку, прокладеного в бетонному колодязі; модель ВК абонентського кабелю *VDSL* каналу зв'язку, прокладеної під стелею будівлі. Розроблені моделі від раніше відомих відрізняються можливістю розрахунку характеристик захищеності від частоти і кутових координат, як у режимі випромінювання, так і в режимі прийому електромагнітних хвиль (ЕМХ).

2. Уперше показано, що на різних ділянках інфраструктури кабельних ліній зв'язку особливості конструктивного виконання КЛЗ дозволяють подати їх еквівалентну випромінюючу систему у вигляді різновидів АБХ (підземної, кабельної, приземної стелючої), що і зумовлює властивості характеристик захищеності КЛЗ від кутових координат і частоти. Іншими (не зовнішніми) чинниками, що впливають на захищеність КЛЗ, є міра екранування кабелів, їх електрична довжина і втрати в середовищі поширення ЕМХ.

3. Шляхом узагальнення чисельних експериментів з використанням розроблених моделей ВК встановлені нові закономірності в поведінці характеристик захищеності провідних каналів зв'язку. З'ясовано наступне: у разі підземного кабелю *SHDSL* каналу зв'язку скритність (розміри ЗВ) слабо залежить від вологості ґрунту і покращується із збільшенням частоти за рахунок зростання втрат у середовищі ПРХ; найбільша скритність забезпечується, якщо довжина кабелю кратна цілому числу довжин хвиль в лінії; скритність вертикального кабелю значно краща, ніж у магістрального підземного, а АКЛЗ *VDSL* каналу навпаки, істотно покращують можливість виявлення роботи ЦСП, особливо, у разі застосування неекраниваних КЛЗ або синфазного випромінювання з декількох паралельно розташованих ліній зв'язку; вплив *RFI* на завадостійкість кабельних каналів зменшується із зростанням частоти незалежно від ділянки інфраструктури КЛЗ і мінімізується при  $l = n\lambda_{\text{л}}$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) у разі застосування екраниваних ліній; неекранивані КЛЗ знижують завадостійкість більш ніж в 100 разів за рівнем напруженості впливаючого поля, за якого напруга завади на вході ЦСП перевищує допустиме значення  $U_{\text{зд}}$ ; уперше експериментально вивчена залежність величини  $U_{\text{зд}}$  для *SHDSL* каналу зв'язку від частоти; виявлено ефект адаптації рівня синхронізації модемів каналу зв'язку до рівня діючих у каналі завад; на підставі існування цього ефекту розроблена рекомендація про необхідність попереднього налаштування фільтрів ЦСП (до синхронізації модемів) на діючий рівень завад, що дозволяє збільшити завадозахищеність КЛЗ у декілька разів.

4. В результаті чисельних експериментів отримано нові кількісні дані про характеристики скритності провідних  $xDSL$  каналів зв'язку. Показано, що у разі одноканальних магістральних КЛЗ максимальний радіус ЗВ змінюється від 400 до 0,1 м у діапазоні частот  $(1 \div 100)$  МГц при  $l=1$  км. Для екранованих АКЛЗ значення  $R(\varphi)$  приблизно такі ж, але вони різко зростають для неекранованих ліній (приблизно у  $50 \div 5000$  разів). У десятки разів розмір ЗВ може вирости під час застосування *MIMO* технологій, що викликає необхідність створення охоронної зони ВСЗ. Досліджено залежність скритності від АФР вздовж АКЛЗ. Запропоновано для підвищення скритності кабельних ліній  $VDSL$  каналів зв'язку використовувати живлення у протифазі сусідніх паралельно розташованих КЛЗ за допомогою фазообертачів.

5. Отримано нові кількісні дані про характеристики завадозахищеності кабельних ліній  $SHDSL$  і  $VDSL$  каналів зв'язку. Виявлено, що для магістральних КЛЗ з  $SHDSL$  технологією рівні напруги поля завад, за яких руйнується робота каналу зв'язку, лежить в межах  $(4,6 \div 6,0)$  В/м на частоті 1 МГц. Нижче цих величин можуть бути отримані допустимі значення  $PER$ , що відповідають вимогам стандартів передачі відеоінформації ( $H.261$ ,  $H.264$ ,  $MPEG2$ ). У разі  $VDSL$  технологій передачі інформації завадостійкість для екранованих КЛЗ істотно знижується і допустимі значення  $PER$  можуть бути одержані тільки при  $E \leq 0,05$  В/м на частоті 1 МГц.

6. Вдосконалено методику і установку для виміру величини  $BER$  і  $U_{30}$ . Проведено дослід з виміру рівнів допустимих завад у діапазоні частот для  $SHDSL$  сигналів. Результати експериментів впроваджено при налаштуванні модемів ЦОВ «102» ГУМВС м. Харкова. Запропоновано нове технічне рішення адаптивного фільтра модему, засноване на виявленому ефекті адаптації рівня синхронізації ЦСПІ до діючого рівня завад.

7. Експериментально виявлено побічне випромінювання з КЛЗ на частотах гармонік тактових генераторів ЦСПІ. Виміряно рівні побічного електромагнітного випромінювання і показано, що їх наявність істотно погіршує скритність ВСЗ, а усунені вони можуть бути за допомогою стандартних способів фільтрації і коректним трасуванням електричних кіл тактових генераторів ЦСПІ.

8. З'ясовано, що комплексне застосування розроблених у роботі способів і технічних рішень з підвищення захищеності дозволяє зменшити розміри ЗВ до величини, коли технічний контроль ЗВ втрачає сенс, навіть під час використання *MIMO* систем.

Отже, усі поставлені задачі вирішено, і мета дисертації досягнута. Подальші дослідження в даному напрямі на наш погляд мають бути спрямовані на детальне вивчення захищеності КЛЗ з *MIMO* технологіями.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Цопа А.А. Оценка защищенности проводных каналов связи с использованием *xDSL* технологий от деструктивного электромагнитного воздействия / А.А. Цопа, В.В. Маслий, А.И. Цопа // Науково-технічний журнал «Захист інформації». – Київ: ДУІКТ, 2007. – Спеціальний Випуск. – С. 32–39.
2. Цопа А.А. Способы повышения и качественной оценки качества передачи видеoinформации по беспроводным каналам связи / А.А. Стрельницький, А.А. Цопа, А.И. Цопа, В.М. Шокало // Вісник НУ «Львівська політехніка». Радіoeлектроніка та телекомунікації. – Львів, 2008. – Випуск № 618. – С. 168–173.
3. Цопа А.А. Результаты предварительных исследований опытного сегмента беспроводной сети ХНУРЭ «Мобильный университет» / Н.С. Лесная, А.А. Стрельницький, А.А. Цопа, А.И. Цопа, В.М. Шокало// Научно-технический сборник «АСУ и приборы автоматизации». – Харьков, 2008. – Вып. 144. – С. 20–26.
4. Дудка А.А. Защищенность кабельного канала связи при применении *xDSL* технологий / А.А. Дудка, В.В. Маслий, А.И. Цопа, В.М. Шокало // Вісник ДУІКТ. – Київ: ДУІКТ, 2009. – Том 7. – Вип. 3. – С. 264–271.
5. Dudka O.O. Cable communication system as antenna. Radiation and reception regimes/ O.O. Dudka, O.I. Tsopa, V.M. Shokalo // International journal «Telecommunication and Radio Engineering». – 2009. – Vol. 68(10). – P. 865–874.
6. Дудка А.А. Помехозащищенность кабельных линий связи в сети абонентского доступа на основе *VDSL* технологий / А.А. Дудка, А.И. Цопа, В.М. Шокало// Науково-технічний журнал «Захист інформації». – Київ: ДУІКТ, 2009.– Вип. 4. – С. 59–64.
7. Дудка А.А. Прогнозирование зон обнаружения для кабельных линий связи в сети абонентского доступа на основе *VDSL* технологий /А.А. Дудка, А.И. Цопа, В.М. Шокало // Науково-технічний журнал «Сучасний захист інформації».– Київ: ДУІКТ, 2010. – Вип. № 3. – С. 45–53.
8. Цопа А.А. Обработка потоковых данных в операционной системе *LINUX* // Материалы 10 Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». – Харьков: ХНУРЭ, 2005. – С. 4–5.
9. Цопа А.А. Методика и результаты измерений предельных напряжений помех проводных каналов связи на основе *xDSL* технологий / А.А. Цопа, А.И. Цопа, В.М. Шокало // Труды 8-Международной НПК «Современные информационные и электронные технологии» /СИЭТ'2007/. – Одесса, 2007. – С. 188.
10. Цопа А.А. Создание программно-аппаратных комплексов для тестирования каналов связи телемедицины / А.А. Цопа, А.И. Цопа, В.М.

Шокало// Всеукраїнська науково-практична відеоконференція «Актуальні питання дистанційної освіти та медицини 2007»– Запоріжжя: ЗМУ, 2007. – С. 1–2.

11. Tsopa O.O. The variant of quality increasing of video information transmission via *WiMAX* fixed connection radio channel/ O.O.Tsopa, O.E.Strelnitskiy, O.I.Tsopa, V.M. Shokalo// Proc. of IX Intern. Conf. Modern problems of Radio Engin., Telecommunications and Computer Science. – Lviv-Slavsko, 2008. – P. 388–389.

12. Цопа А.А. Экспресс-контроль качества передачи видеoinформации при удаленном мониторинге зоны экологического загрязнения / А.А. Цопа, С.А. Маковецкий, И.А. Ткалич // Тезисы 4-й Международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций /PT-2008/». – Севастополь, 2008. – С. 72.

13. Цопа А.А. Исследование защищенности кабельных линий связи / В.В. Маслий, А.А. Цопа, С.А. Маковецкий, А.И. Цопа // Тези доповідей IV-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій /PTIT-2008/». – Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. – С. 218–219.

14. Цопа А.А. Модель кабельной линии связи как излучающей системы / В.В.Маслий, А.А.Цопа, А.И. Цопа // Материалы 3-го Международного радиоэлектронного форума. Конференция «Современные и перспективные системы радиолокации, радиоастрономии и спутниковой навигации /CPPCH-2008/». – Харьков: ХНУРЭ, 2008. – С. 137–139.

15. Dudka O. Review and classification of the protocols of streaming video information transmission over digital communication channels /O. Dudka O., V. Valkovoy // Сборник научных трудов XIII международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». – Харьков: ХТУРЭ, 2009. – С. 8.

16. Dudka O.O. Review and classification of monitoring methods of videoinformation transmission quality in telecommunication networks /O.O Dudka O., V.S. Valkovoy //Тезисы 4-й Международной молодежной НТК «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций /PT-2009/». – Севастополь: СевНТУ, 2009. – С. 83.

17. Dudka O.O. Cable connection line presentation in form of antennas for assessment of her protectability from external noise during videoinformation transmission/ O.O. Dudka, O.I. Tsopa, V.M. Shokalo// Proc. 7 International Conference on Antenna Theory and Techniques. – Lviv: Ukraine, 2009. – P. 180.

18. Дудка А.А. Экспериментальная оценка скрытности цифровых систем передачи информации на частотах побочных излучений //Тезисы 5-й Международной молодежной НТК «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций» /PT-2010/. – Севастополь: СевНТУ, 2010. – С. 432.

19. Дудка А.А. Прогнозирование зон обнаружения для горизонтальных кабельных линий связи в сети абонентского доступа на основе *VDSL* технологий // Тезисы 4-й международной НТК "Проблемы телекоммуникаций". – Киев: КНТУ «КПИ», 2010. – С. 118.

20. Дудка А.А. Модель отводного канала для кабельных линий связи // Тези доповідей VI-ї Міжнародної НПК «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій /PTIT-2010/». – Запоріжжя: ЗНТУ, 2010. – С. 96–98.

21. Дудка А.А. Пути повышения защищенности каналов связи цифровых систем передачи информации на физическом уровне / А.А. Дудка, А.В. Стрельницкий, А.А. Стрельницкий, А.И. Цопа, В.М. Шокало // Сборник тезисов докладов 20 Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». – Севастополь: СевНТУ, 2010. – Том. 1.– С. 28–31.

### АНОТАЦІЯ

Дудка О.О. Оцінка захищеності кабельних каналів передачі інформації відомчих систем зв'язку та засоби її підвищення. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.21 – системи захисту інформації. Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2010.

У дисертації представлено нове вирішення актуальної науково-технічної задачі, пов'язаної з розвитком концепції відвідного каналу, стосовно створення методів прогнозування захищеності кабельних *xDSL* каналів передачі інформації відомчих систем зв'язку. Головний результат дисертації полягає в розробці нового підходу до створення спрощених моделей для оцінки захищеності провідних *MIMO* систем шляхом їх приведення (у разі ортогональних каналів) до сукупності незалежних *SISO* систем з наступним поданням еквівалентного випромінювача відвідного каналу у вигляді антена біжучої хвилі. Достовірність розроблених наукових принципів і методик розрахунку захищеності кабельних ліній зв'язку, а також отриманих результатів, підтверджена при модернізації відомчої системи зв'язку - Центру обслуговування викликів екстреної служби «102» ГУМВД м. Харкова.

Ключові слова: кабельна лінія зв'язку, відвідний канал, скритність, завадозахищеність, зона виявлення, антена біжучої хвилі.

### АННОТАЦИЯ

Дудка А.А. Оценка защищенности кабельных каналов передачи информации ведомственных систем связи и способы ее повышения. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.21 – системы защиты информации. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2010.

В диссертации представлено новое решение актуальной научно-технической задачи, связанной с развитием концепции отводного канала применительно к созданию методов прогнозирования защищенности кабельных  $xDSL$  каналов передачи информации ведомственных систем связи.

Главный результат диссертации состоит в развитии концепции отводного канала для случая многоканальных проводных систем связи за счет разработки приближенного подхода к решению задач защищенности проводных  $MIMO$  систем путем их приведения к системам типа  $SISO$  в случае ортогональных каналов.

Основной вклад в теорию заключается в следующем: предложен новый подход к определению характеристик защищенности  $xDSL$  кабельных каналов связи, основанный на приведении  $N$ -канальных  $MIMO$  проводных систем связи к  $N$  независимым  $SISO$  системам и представлении последних в виде антенны бегущей волны. Исходя из этого подхода, предложены модели отводных радиоканалов для расчета защищенности различных участков инфраструктуры КЛС (наземных и подземных); впервые изучены частотные и угловые характеристики интенсивности поля излучения  $xDSL$  кабельных каналов связи и напряжения помехи на входе модема, наводимого действующими радиоэлектронными средствами. На основании этого выяснены варианты взаимного расположения КЛС и постановщика помех (передатчика нарушителя), а также КЛС и обнаружителя (приемника нарушителя), при котором нарушитель наиболее эффективно снижает защищенность канала связи; обнаружен эффект адаптации  $xDSL$  канала связи при различных уровнях одночастотной помехи в эффективной полосе частот, что позволяет адаптировать фильтры ЦСПИ к новому уровню помех и тем самым повышать общую помехозащищенность канала связи ВСС; предложены методика и структурная схема измерений вероятности битовой ошибки и уровня допустимого напряжения помех в многоканальных мультимедийных ЦСПИ с  $xDSL$  каналами связи.

Практическая ценность работы определяется, прежде всего, новым экспериментальным материалом о допустимом уровне напряжения помехи в  $xDSL$  кабельном канале связи, а также результатами численного анализа на основе которого получен фактический материал о значениях  $BER$  и  $PER$  в  $xDSL$  кабельном канале связи при воздействии различных радиочастотных помех и о

конфигурации и размерах зон обнаружения наземных и подземных участков инфраструктуры КЛС.

К другим важным практическим результатам относятся технические решения, предложенные для повышения защищенности *xDSL* кабельных каналов связи: применение фазовращателей в решетках кабельных линий *VDSL* каналов связи; применение цифрового адаптивного фильтра радиочастотных помех в модемах ЦСПИ. Экспериментально также обнаружено излучение КЛС на частотах гармоник тактовых генераторов ЦСПИ, которое ухудшает ее скрытность.

Достоверность разработанных научных принципов и методик расчета защищенности КЛС, а также полученных результатов подтверждена при модернизации ведомственной системы связи – Центра обслуживания вызовов экстренной службы «102» ГУМВД г. Харькова.

Ключевые слова: кабельная линия связи, отводной канал, скрытность, помехозащищенность, зона обнаружения, антенна бегущей волны.

### ABSTRACT

Dudka O.O. Evaluation of the departmental communication systems cable information transmission channels protectability and the ways of enhancing it. – The manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of the technical sciences by specialty 05.13.21 – Information Security Systems (Ph.D. thesis). Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, 2010.

The thesis presents a new solution of a modern scientific applied problem related to the development of the concept of wiretap channel. The main goal of the thesis is to create methods of protectability prediction for information transmission *xDSL* cable channels for the departmental communication systems.

The main result of the thesis is development of new approach to the creation of simplified models for assessing the protectability of wired *MIMO* systems by bringing them (in case of orthogonal channels) to the set of independent *SISO* systems with the following representation of diverting channel equivalent emitter as a travelling wave antenna.

Validity of the developed scientific principles and procedures of cable communication lines protectability calculation is confirmed during the modernization of communications system of the Kharkiv “102” emergency service call center at the Ministry of Interior Affairs city administration.

Key words: cable connection line, wiretap channel, secrecy, protectability, detection zone, travelling wave antenna.