

Голові
разової спеціалізованої вченої ради
Державного університету
інтелектуальних технологій і
зв'язку МОН України, в.о. декана
факультету Інформаційних
технологій та кібербезпеки,
доктору технічних наук,
професору, професору кафедри
кібербезпеки та технічного захисту
інформації
Євгену ВАСІЛІУ
вул. Кузнечна, 1, м. Одеса, 66000

ВІДГУК

офіційного опонента, кандидата технічних наук (спеціальність 05.13.21 – системи захисту інформації), доцента, декана факультету комп'ютерних наук та технологій Національного університету «Київський авіаційний інститут» МОН Фесенко Андрія Олексійовича на дисертацію Степанова Вадима Олександровича «Підвищення прихованості передавання ширококутових таймерних сигналів на основі псевдовипадкового перескоку робочої частоти», яка подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 125 Кібербезпека.

Актуальність теми дисертаційної роботи

Актуальність дисертаційної роботи Степанова В.О. обумовлена необхідністю підвищення захищеності систем радіозв'язку в умовах сучасної радіоелектронної боротьби, широкого застосування засобів радіоелектронної розвідки та зростання вимог до забезпечення кібербезпеки інформаційно-комунікаційних систем критичної інфраструктури і військового призначення.

Сучасні засоби радіоелектронної розвідки здатні не лише виявляти факт передавання сигналу, а й здійснювати його структурний аналіз, визначати параметри функціонування системи зв'язку та створювати умови для ефективного радіоелектронного подавлення. За таких умов традиційні методи розширення спектра, зокрема пряме розширення спектра псевдовипадковими послідовностями та псевдовипадковий перескок

робочої частоти, хоча й забезпечують достатній рівень енергетичної прихованості, не повною мірою протидіють сучасним методам структурного аналізу сигналів.

У цьому контексті особливої актуальності набуває розроблення нових методів підвищення прихованості передавання інформації, які забезпечують одночасне формування частотної та часової невизначеності сигналів. Запропонований у дисертації підхід, що ґрунтується на інтеграції таймерних сигнальних конструкцій із псевдовипадковим перескоком робочої частоти, спрямований на підвищення структурної прихованості широкосмугових сигналів, зменшення ймовірності їх виявлення, перехоплення та ідентифікації засобами радіоелектронної розвідки.

Тематика дисертації повністю відповідає сучасним науковим напрямам спеціальності 125 Кібербезпека, оскільки спрямована на розроблення методів захисту інформації на фізичному рівні інформаційно-комунікаційних систем, підвищення стійкості каналів передавання інформації до сучасних кіберзагроз і засобів радіоелектронного впливу. Отже, тема дисертаційної роботи є своєчасною, актуальною як у науковому, так і в практичному аспектах, а результати дослідження мають важливе значення для розвитку захищених систем радіозв'язку та забезпечення кібербезпеки інформаційних систем.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота Степанова В.О. виконана відповідно до пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки у сфері кібербезпеки та захисту інформації. Тематика дослідження узгоджується з положеннями Законів України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України», «Про захист інформації в інформаційно-комунікаційних системах», Стратегії кібербезпеки України, а також відповідає основним науковим напрямам фундаментальних досліджень Національної академії наук України на 2024–2028 роки.

Робота виконувалася в межах держбюджетної науково-дослідної роботи «Розроблення методів підвищення захищеності передавання інформації в інформаційно-комунікаційних системах на основі інтегрованих сигнально-кодових перетворень» (державний реєстраційний номер 0126U002946), а її результати увійшли до науково-технічного звіту за зазначеною НДР.

Отже, дисертаційне дослідження має безпосередній зв'язок із виконанням наукових програм Державного університету інтелектуальних

технологій і зв'язку, відповідає освітньо-науковій програмі підготовки докторів філософії за спеціальністю 125 Кібербезпека та спрямоване на вирішення актуальних науково-практичних завдань щодо підвищення захищеності інформаційно-комунікаційних систем шляхом удосконалення методів прихованого передавання інформації.

Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна дисертаційної роботи Степанова В.О. є достатньо обґрунтованою та полягає у вирішенні актуального наукового завдання щодо підвищення захищеності інформаційного обміну в інформаційно-комунікаційних системах шляхом розроблення нових методів формування широкосмугових сигнально-кодових конструкцій на основі інтеграції таймерних сигнальних конструкцій, прямого розширення спектра та псевдовипадкового перескоку робочих частот.

До найбільш вагомих результатів дисертаційного дослідження, що визначають його наукову новизну, доцільно віднести:

- вперше розроблено метод формування та передавання комбінованих широкосмугових сигнально-кодових конструкцій, який ґрунтується на спільному використанні таймерного кодування, прямого розширення спектра та псевдовипадкового перескоку робочих частот. Відмінною особливістю запропонованого методу є формування структурної невизначеності сигналу одночасно у часовій, кодовій та частотній областях, що забезпечує підвищення прихованості інформаційного обміну;

- вперше одержано аналітичні залежності структурної прихованості комбінованих широкосмугових сигнально-кодових конструкцій від параметрів їх формування, зокрема параметрів таймерних сигнальних конструкцій, псевдовипадкових послідовностей та псевдовипадкового перескоку робочих частот. Одержані залежності дають можливість кількісно оцінювати вплив часової, кодової та частотної складових на структурну невизначеність сигналу та обґрунтовувати вибір параметрів сигнально-кодових конструкцій відповідно до заданого рівня прихованості інформаційного обміну;

- подальший розвиток математичного апарату оцінювання структурної прихованості широкосмугових сигнально-кодових конструкцій шляхом комплексного врахування часової, кодової та частотної складових. Це дозволило перейти від оцінювання окремих механізмів приховування сигналу до інтегрального представлення структурної невизначеності комбінованої сигнальної конструкції;

– встановлення взаємозв'язку між кодовою відстанню та взаємкореляційними характеристиками таймерних сигнальних конструкцій, що має значення для обґрунтованого формування ансамблів слабкорельованих сигналів та вибору їх параметрів з урахуванням вимог щодо прихованості й завадозахищеності;

– удосконалення підходу до формування шумоподібних сигналів на основі таймерних сигнальних конструкцій за рахунок їх адаптації до різних режимів псевдовипадкового перескоку робочої частоти. У роботі розглянуто швидку, повільну та багатоканальну перебудову частоти, адаптовану до непозиційної структури таймерних сигналів, що розширює можливості практичного застосування запропонованого підходу.

Важливим з погляду цілісності отриманих наукових результатів є те, що зазначені положення не є ізольованими: вони утворюють послідовну систему від математичного опису таймерних сигнальних конструкцій та дослідження їх спектрально-кореляційних властивостей до побудови комбінованих методів розширення спектра та оцінювання структурної прихованості сформованих сигналів. Зокрема, автором показано, що структурна прихованість визначається сукупною дією часової, кодової та частотної невизначеності, а внесок ППРЧ залежить як від кількості доступних частотних позицій, так і від кількості перебудов частоти в межах сигналу.

Таким чином, одержані результати мають належний рівень наукової новизни, є взаємопов'язаними та формують завершений методичний підхід до підвищення прихованості передавання інформації на фізичному рівні інформаційно-комунікаційних систем. За своїм змістом і спрямованістю наведені результати відповідають предметній області спеціальності 125 «Кібербезпека»..

Практична цінність та впровадження отриманих результатів

Практична цінність дисертаційної роботи полягає в тому, що розроблені автором методи, математичні моделі, аналітичні залежності та алгоритми можуть бути використані під час проєктування, модернізації та оцінювання захищеності інформаційно-комунікаційних систем, які функціонують в умовах радіоелектронної протидії.

Практичний інтерес становить запропонований метод інтеграції таймерних сигнальних конструкцій із технологіями прямого розширення спектра та псевдовипадкового перескоку робочих частот, що забезпечує формування комбінованих шумоподібних сигнально-кодкових конструкцій із

підвищеним рівнем структурної прихованості. Запропонований математичний апарат дозволяє кількісно оцінювати рівень структурної прихованості сигналів, прогнозувати захищеність інформаційного обміну та здійснювати обґрунтований вибір параметрів таймерного кодування, псевдовипадкових послідовностей і алгоритмів ППРЧ відповідно до вимог щодо інформаційної безпеки.

Практичне значення мають також отримані залежності між кодовою відстанню та коефіцієнтами взаємної кореляції таймерних сигнальних конструкцій, які можуть бути використані для формування слабкорельованих ансамблів сигналів із підвищеною структурною прихованістю, завадостійкістю та ефективністю кореляційного приймання. Удосконалений метод формування шумоподібних сигналів забезпечує реалізацію різних режимів псевдовипадкового перескоку робочих частот без втрати властивостей таймерного кодування, що розширює можливості його практичного застосування у сучасних системах захищеного радіозв'язку.

Отримані результати можуть бути використані під час створення та модернізації інформаційно-комунікаційних систем спеціального призначення, систем військового й відомчого радіозв'язку, засобів захисту інформації, а також у навчальному процесі закладів вищої освіти під час викладання дисциплін із кібербезпеки, теорії сигналів, захисту інформації та систем спеціального зв'язку.

Практичну значущість результатів дослідження підтверджено їх впровадженням у навчальний процес кафедри кібербезпеки та технічного захисту інформації Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку, а також використанням на підприємстві ТОВ «БФ «Секрет Сервіс», що засвідчено відповідними актами впровадження.

Загалом отримані результати мають належний рівень практичної цінності, доведені до стадії практичного використання та можуть бути рекомендовані для застосування під час розроблення перспективних систем захищеного радіозв'язку й інформаційно-комунікаційних систем спеціального призначення.

Аналіз змісту, структури та обсягу роботи

Загальний обсяг дисертації становить 173 сторінки, з яких основний текст викладено на 121 сторінці машинописного тексту.

Дисертаційна робота побудована логічно, має чітку структуру та відповідає поставленій меті й сформульованим завданням дослідження. Матеріал викладено послідовно: від аналізу сучасного стану проблеми та

існуючих методів забезпечення прихованості передавання інформації до розроблення нових методів, математичних моделей, алгоритмів, їх теоретичного обґрунтування та експериментальної перевірки.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану проблеми забезпечення прихованості передавання інформації в системах радіозв'язку в умовах радіоелектронної протидії. Розглянуто показники енергетичної, структурної та інформаційної прихованості, проаналізовано вплив радіоелектронної розвідки на функціонування систем зв'язку, досліджено переваги та обмеження існуючих методів розширення спектра, а також обґрунтовано доцільність використання таймерних сигнальних конструкцій у поєднанні з технологією псевдовипадкового перескоку робочих частот.

У другому розділі розроблено метод інтеграції таймерних сигнальних конструкцій із методами прямого розширення спектра та псевдовипадкового перескоку робочих частот, запропоновано математичні моделі формування комбінованих широкосмугових сигналів і виконано оцінювання їх структурної прихованості.

У третьому розділі досліджено кореляційні властивості сформованих сигнально-кодкових конструкцій, встановлено залежності між кодовою відстанню та коефіцієнтами взаємної кореляції, а також удосконалено математичний апарат оцінювання структурної прихованості комбінованих сигналів.

У четвертому розділі наведено результати моделювання та експериментальних досліджень, які підтверджують працездатність запропонованих методів і демонструють підвищення рівня структурної прихованості та захищеності інформаційного обміну порівняно з існуючими рішеннями.

У загальних висновках наведено основні результати дисертаційного дослідження.

У додатках представлено список публікацій здобувача за темою дисертації, акти впровадження та використання результатів дисертаційного дослідження.

Структура дисертації є логічною та завершеною, а зміст розділів взаємопов'язаний і забезпечує послідовне розкриття теми дослідження. Обсяг роботи є достатнім для повного висвітлення поставлених завдань. Основні результати дослідження належним чином проілюстровані рисунками,

таблицями та математичними залежностями, що полегшує їх сприйняття та підтверджує обґрунтованість отриманих висновків.

У результаті аналізу змісту дисертаційної роботи Степанова Вадима Олександровича встановлено, що вона повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 125 Кібербезпека галузі знань 12 Інформаційні технології для третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти та ОНП спеціальності 125 Кібербезпека Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку.

На підставі перевірки дисертації на вимоги доброчесності встановлено, що робота Степанова Вадима Олександровича є результатом оригінальних і самостійних досліджень, вона не містить текстових запозичень без посилань на відповідні джерела.

Дисертація Степанова Вадима Олександровича є завершеним, змістовним, логічним і структурованим науково-прикладним дослідженням, що дозволило в повному обсязі розкрити тему дослідження та досягти поставленої мети.

Мова та стиль викладання результатів

Дисертація Степанова Вадима Олександровича написана українською мовою. Стиль викладення матеріалів досліджень є лаконічним, структурованим, чітким і логічним.

Повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих наукових працях

Основні результати дисертаційного дослідження достатньою мірою апробовані та опубліковані автором. За темою дисертації Степановим В. О. опубліковано 15 наукових праць, з яких 7 статей – у наукових фахових виданнях України, включених до Переліку наукових фахових видань України, у тому числі одна стаття опублікована у виданні, що індексується в наукометричній базі даних Scopus, а також 8 тез доповідей у матеріалах міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференцій. Крім того, результати дослідження використано під час виконання однієї ініціативної науково-дослідної роботи за спеціальною тематикою.

Кількість, рівень та характер опублікованих наукових праць відповідають чинним вимогам Міністерства освіти і науки України щодо апробації результатів дисертаційних досліджень на здобуття ступеня доктора філософії. Аналіз змісту публікацій свідчить, що вони достатньо повно відображають основні наукові положення, результати та висновки дисертаційної роботи. Отримані автором результати пройшли належну

апробацію в науковому середовищі та були доведені до фахової спільноти через публікації у профільних наукових виданнях і матеріалах конференцій.

Зауваження та дискусійні положення

1. У підрозділі 1.2 запропоновано комплексний підхід до оцінювання прихованості передавання інформації, у межах якого розглядаються ймовірності виявлення, перехоплення та структурного аналізу сигналу. Водночас використане у формулах (1.12)–(1.13) припущення щодо статистичної незалежності відповідних етапів радіоелектронної розвідки потребує більш ґрунтовного обґрунтування. У реальних умовах результати попереднього етапу можуть впливати на ймовірність успішного виконання наступного, тому доцільно було б визначити умови, за яких прийняте припущення є коректним, або розглянути умовні ймовірності відповідних подій.

2. У підрозділі 2.5 наведено математичні залежності, що характеризують обробний виґраш, спектральні властивості та структурну прихованість досліджуваних сигналів. Разом із тим для окремих залежностей перехід від традиційних характеристик широкосмугового сигналу до показників структурної прихованості представлено досить стисло. На мою думку, доцільно було б детальніше обґрунтувати фізичний зміст такого взаємозв'язку та визначити межі застосовності отриманих залежностей, а їх адекватність додатково підтвердити результатами імітаційного моделювання або експериментального дослідження.

3. У роботі достатньо ґрунтовно показано переваги таймерних сигнальних конструкцій щодо збільшення кількості можливих сигнальних реалізацій та формування додаткової часової і структурної невизначеності. Водночас практичний ефект такого підходу доцільно було б розглядати разом із відповідними ресурсними та функціональними обмеженнями. Зокрема, більш детального аналізу потребують вимоги до точності часової синхронізації, вплив параметрів ТСК на інформаційну швидкість, обчислювальна складність процедур формування та розпізнавання сигналів, а також складність реалізації приймального тракту. Сам автор відзначає підвищену алгоритмічну й апаратну складність комбінованого застосування ТСК та ППРЧ.

4. У підрозділі 3.3 запропоновано модифікований алгоритм кореляційного приймання, який враховує непозиційну структуру таймерних сигналів та передбачає прийняття рішення за положенням і послідовністю екстремумів вихідної напруги корелятора. Водночас у дисертації недостатньо

повно досліджено стійкість запропонованого алгоритму до похибок часової синхронізації, джитеру, багатопроменевого поширення та шумових спотворень моментів появи відповідних екстремумів. Оскільки саме часові координати екстремумів використовуються для відновлення структури ТСК, кількісне оцінювання допустимих похибок їх визначення дозволило б повніше обґрунтувати практичну працездатність запропонованого способу приймання.

5. У підрозділі 4.5 та табл. 4.4 наведено результати оцінювання структурної прихованості комбінованого сигналу залежно від параметрів ТСК, псевдовипадкової послідовності та ППРЧ. При цьому автор робить висновок про домінуючий внесок частотної складової ППРЧ у сумарний показник структурної прихованості. Разом із тим вибір конкретних наборів параметрів m , s , i , параметрів ПВП та ППРЧ потребує більш детального обґрунтування. Доцільно було б також визначити раціональні діапазони параметрів, у межах яких зростання структурної прихованості не супроводжується неприйнятним погіршенням завадостійкості, інформаційної швидкості, складності синхронізації та практичної реалізованості системи. Це надало б отриманим результатам більш вираженого прикладного характеру.

6. У дисертаційній роботі виявлено окремі орфографічні неточності та випадки використання термінологічних конструкцій, не властивих українській науковій мові.

Зазначені зауваження не мають суттєвого впливу на загальний високий науковий рівень дисертаційної роботи та не знижують її науково-практичну цінність. Вони переважно мають редакційний і рекомендаційний характер та можуть бути враховані автором у подальшому розвитку й удосконаленні результатів дослідження.

Висновок

На підставі розгляду дисертації здобувача Степанова Вадима Олександровича, приймаючи до уваги актуальність теми роботи, положення наукової новизни, практичну значущість, показники обґрунтованості та достовірності одержаних результатів, вважаю, що представлена на захист дисертація «Підвищення прихованості передавання широкосмугових таймерних сигналів на основі псевдовипадкового перескоку робочої частоти» є завершеним і самостійним дослідженням, присвяченим вирішенню актуальної науково-прикладної задачі підвищення прихованості передавання інформації в системах радіозв'язку шляхом розроблення методів формування та передавання широкосмугових таймерних сигналів на основі псевдовипадкового перескоку робочої частоти.

Дисертація Степанова Вадима Олександровича відповідає вимогам пунктів 5–8 Постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 р. «Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а також Наказу Міністерства освіти та науки України від 12.07.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Вважаю, що Степанов Вадим Олександрович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії (PhD) за спеціальністю 125 Кібербезпека.

Офіційний опонент

декан факультету комп'ютерних наук
та технологій

Національний університет

«Київський авіаційний інститут»,

доцент, кандидат технічних наук



Андрій ФЕСЕНКО

Андрій Фесенко
доцент, секретар КАН
Іван Іванов