

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Степанова Вадима Олександровича «Підвищення прихованості передавання широкосмугових таймерних сигналів на основі псевдовипадкового перескоку робочої частоти», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за галуззю знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 125 Кібербезпека.

Актуальність роботи

Сучасні інформаційно-комунікаційні системи (ІКС) функціонують в умовах зростання інтенсивності радіоелектронної протидії та підвищення вимог до захищеності передавання інформації. За таких умов важливого значення набуває забезпечення прихованості радіосигналів, яка визначає можливість їх виявлення, ідентифікації та аналізу засобами радіоелектронної розвідки. Особливо актуальним це є для систем радіозв'язку, у яких необхідно забезпечувати одночасно достовірність передавання інформації, завадостійкість та зниження ймовірності виявлення сигналу.

Одним із перспективних напрямів вирішення зазначеного завдання є використання широкосмугових шумоподібних сигналів, зокрема сигналів із розширенням спектра. Застосування методів прямого розширення спектра (ПРС) та псевдовипадкового перескоку робочої частоти (ППРЧ) дає змогу зменшити спектральну густину потужності сигналу, ускладнити його енергетичне виявлення та підвищити стійкість до навмисних завад. Водночас класичне використання таких методів переважно ґрунтується на позиційних сигнальних конструкціях із відносно визначеною часовою структурою.

Перспективним напрямом подальшого підвищення прихованості є застосування непозиційних таймерних сигнальних конструкцій (ТСК), у яких інформація визначається часовими співвідношеннями між значущими моментами сигналу. Зміна часової структури ТСК у поєднанні з ПРС та ППРЧ створює додатковий рівень часово-частотної невизначеності. Це може ускладнювати виявлення, синхронізацію та структурний аналіз сигналу засобами радіоелектронної розвідки (РЕР).

У зв'язку з цим дослідження методів підвищення прихованості передавання широкосмугових таймерних сигналів на основі ППРЧ є актуальним науково-прикладним завданням. Актуальність дисертаційної роботи також визначається необхідністю розроблення відповідних методів формування та приймання таких сигналів і оцінювання їх енергетичної та структурної прихованості в умовах сучасної радіоелектронної протидії.

Наукові результати та їх новизна

Наукові результати дисертаційної роботи спрямовані на вирішення науково-прикладного завдання підвищення рівня захисту передаваної інформації від несанкціонованого доступу (НСД) на фізичному рівні радіоканалу за рахунок підвищення прихованості широкосмугових таймерних сигналів. Запропоновані автором методи та алгоритми спрямовані на зниження ймовірності виявлення, перехоплення та структурного аналізу радіосигналів засобами радіоелектронної розвідки, що створює додатковий механізм захисту

інформації безпосередньо під час її передавання.

Наукову новизну роботи визначає розвиток методів формування та оброблення шумоподібних таймерних сигнальних конструкцій, у яких поєднано часову невизначеність структури сигналу з механізмами розширення спектра та ППРЧ. Таке поєднання формує додатковий рівень структурної невизначеності та підвищує прихованість передавання інформації на фізичному рівні.

До найбільш вагомих наукових результатів належать розроблення методу прямого розширення спектра таймерних сигнальних конструкцій на основі псевдовипадкової послідовності (ПВП), розвиток методу формування широкосмугових таймерних сигналів із використанням ППРЧ, а також розроблення алгоритму їх кореляційного приймання з урахуванням непозиційної часової структури.

Важливим науковим результатом є запропонований комбінований метод розширення спектра, у якому поєднано таймерне кодування, пряме розширення спектра на основі ПВП та ППРЧ. Таке поєднання забезпечує формування багаторівневої невизначеності сигналу у часовій, кодовій та частотній областях і сприяє ускладненню його виявлення та структурного аналізу стороннім спостерігачем.

Отримані результати розширюють можливості застосування широкосмугових таймерних сигналів для захисту передаваної інформації від несанкціонованого доступу на фізичному рівні та можуть бути використані під час розроблення захищених систем радіозв'язку.

Практичне значення та практична цінність отриманих результатів

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання для підвищення рівня захисту передаваної інформації від НСД на фізичному рівні радіоканалу. Запропоновані методи формування широкосмугових таймерних сигналів, прямого розширення спектра та псевдовипадкового перескоку робочої частоти створюють додаткові механізми зниження ймовірності виявлення та структурного аналізу сигналів засобами радіоелектронної розвідки.

Практичну цінність становить розроблений алгоритм кореляційного приймання шумоподібних таймерних сигналів, який враховує їх непозиційну часову структуру та дає змогу визначати значущі моменти відновлення за екстремумами вихідної напруги кореляційного приймача. Запропоновані рішення можуть бути використані під час проектування та дослідження захищених систем радіозв'язку, у яких необхідно забезпечити підвищену прихованість передавання інформації в умовах радіоелектронної протидії.

Практична значущість також визначається можливістю комбінованого застосування таймерного кодування, прямого розширення спектра та псевдовипадкового перескоку робочої частоти. Таке поєднання дає змогу формувати багаторівневу часово-кодово-частотну структуру сигналу та може бути основою для подальшого вдосконалення засобів фізичного захисту інформації в радіоканалах.

Практична значущість результатів підтверджується їх впровадженням у навчальний процес кафедри кібербезпеки та технічного захисту інформації

Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку. Результати дослідження також знайшли застосування під час виконання науково-дослідних робіт ТОВ «БФ «Секрет Сервіс», що підтверджується відповідними актами впровадження. Це свідчить про можливість практичного використання розроблених методів та алгоритмів у навчальній і науково-дослідній діяльності.

Оцінка змісту, ступеню завершеності та обґрунтованості положень дисертації

Повний обсяг дисертаційної роботи становить 173 сторінки, з яких 121 сторінка – основний текст. Список використаних джерел містить 98 найменувань.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, сформульовано мету, об'єкт, предмет та основні завдання роботи. Визначено методи дослідження, сформульовано наукову новизну, теоретичне та практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про особистий внесок здобувача, апробацію результатів дослідження, публікації та структуру дисертації.

Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану проблеми забезпечення прихованості передавання інформації в системах радіозв'язку. Розглянуто вплив енергетичної та спектральної ефективності каналу на енергетичну прихованість сигналів, досліджено основні засоби радіорозвідки та методи виявлення радіосигналів. Проаналізовано особливості позиційних і непозиційних сигнальних конструкцій, а також визначено передумови використання таймерних сигналів для підвищення структурної прихованості передавання інформації. Проведений аналіз дав змогу сформулювати напрям подальших досліджень та обґрунтувати постановку завдань дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячено дослідженню методів формування та розширення спектра таймерних сигнальних конструкцій. Розглянуто принципи побудови таймерних сигналів, особливості прямого розширення спектра на основі псевдовипадкових послідовностей та методи псевдовипадкового перескоку робочої частоти. Проведено аналіз повільної та швидкої ППРЧ, а також багатоканального способу перебудови робочої частоти. Визначено особливості їх застосування для підвищення енергетичної та структурної прихованості передавання інформації.

Третій розділ присвячено розробленню та дослідженню методів формування і приймання шумоподібних таймерних сигнальних конструкцій. Запропоновано метод прямого розширення спектра таймерних сигналів на основі псевдовипадкової послідовності. Розроблено алгоритм кореляційного приймання шумоподібних таймерних сигналів, що враховує їх непозиційну часову структуру та використовує аналіз екстремумів інтегральної функції для визначення значущих моментів відновлення. Отримані результати спрямовані на забезпечення можливості коректного приймання таймерних сигналів зі змінною часовою структурою.

Четвертий розділ присвячено розробленню комбінованого методу розширення спектра таймерних сигналів та оцінюванню їх структурної

прихованості. Запропоновано багаторівневу процедуру формування шумоподібного таймерного сигналу, яка поєднує таймерне кодування, пряме розширення спектра на основі псевдовипадкової послідовності та псевдовипадковий перескок робочої частоти. Розглянуто швидку, повільну та багатоканальну ППРЧ у складі комбінованого сигналу. Запропоновано показники оцінювання структурної прихованості та інтегральної бази сигналу. Проведено дослідження впливу параметрів побудови таймерних сигнальних конструкцій на рівень структурної прихованості комбінованого сигналу.

У загальних висновках систематизовано основні результати дисертаційного дослідження, сформульовано висновки за отриманими теоретичними та практичними результатами, а також визначено значення запропонованих методів для підвищення прихованості передавання інформації в системах радіозв'язку.

У додатках наведено матеріали, що доповнюють основний зміст дисертації, зокрема відомості про публікації здобувача та документи, що підтверджують практичне використання отриманих результатів.

Загалом зміст дисертаційної роботи відповідає поставленій меті та визначеним завданням. Структура роботи є послідовною, а основні теоретичні положення підтверджено математичними моделями, розрахунками та результатами досліджень. Це дає підстави вважати дисертаційну роботу завершеним науковим дослідженням, у якому отримано результати, що мають наукову новизну та практичну цінність.

Повнота викладення результатів дисертації у наукових виданнях

Результати дисертаційного дослідження достатньо повно висвітлено в наукових публікаціях здобувача. За темою дисертаційної роботи опубліковано 15 наукових праць, з яких 7 наукових статей у періодичних виданнях України, включених до переліку наукових фахових видань України. Одна зі статей опублікована у журналі, що індексується наукометричною базою даних Scopus. Результати дослідження також представлені в 8 тезах доповідей у матеріалах наукових конференцій. Крім того, здобувач брав участь в одній ініціативній науково-дослідній роботі за спеціальною тематикою.

Зміст опублікованих праць відповідає темі дисертації та відображає основні результати проведеного дослідження. Наведені публікації забезпечують належний рівень апробації результатів роботи та свідчать про достатню повноту їх представлення у наукових виданнях.

Оформлення дисертації та дотримання вимог академічної доброчесності

Дисертаційна робота оформлена відповідно до встановлених вимог, виконана з дотриманням наукового стилю та із застосуванням сучасної наукової термінології. Тема, зміст і отримані наукові результати відповідають спеціальності 125 Кібербезпека у галузі знань 12 Інформаційні технології.

Аналіз змісту дисертації та опублікованих наукових праць здобувача свідчить про дотримання вимог академічної доброчесності. Основні наукові результати отримані здобувачем особисто. У роботі наведено належні посилання на використані джерела та результати інших авторів. Текстових запозичень без відповідного посилання на джерело та ознак порушення академічної доброчесності не виявлено.

Зауваження до дисертаційної роботи

1. У п. 1.6 наведено порівняння класичних методів ПРС-ПВП та ППРЧ, однак недостатньо обґрунтовано вплив параметрів їх функціонування на структурну прихованість сигналів, яка є важливою складовою захисту передаваної інформації на фізичному рівні.

2. У п. 2.1 наведено класифікацію та порівняння методів розширення спектра, однак недостатньо обґрунтовано їх кількісні характеристики за критеріями енергетичної та структурної прихованості.

3. У п. 2.6 наведено обґрунтування доцільності використання таймерних сигналів для підвищення прихованості передавання інформації, однак недостатньо розкрито залежність рівня структурної прихованості від параметрів побудови ТСК та їх вплив на кількість можливих сигнально-кодових реалізацій.

4. У табл. 3.1 та 3.2 наведено результати оцінювання парних коефіцієнтів кореляції та кодової відстані між таймерними сигналами лише для параметрів $m=4$, $s=4$ та $i=2$. Для повнішого обґрунтування отриманих результатів доцільно було б провести аналогічні дослідження для різних комбінацій параметрів m , s та i .

5. На рис. 3.8 наведено процес кореляційного приймання шумоподібних таймерних сигналів та визначення їх часових інтервалів за екстремумами вихідної напруги інтегратора. Водночас недостатньо деталізовано механізм адаптації кореляційного приймача до параметрів прийнятої таймерної сигнальної конструкції, зокрема формування та вибору опорної ТСК і визначення її параметрів, що потребує додаткового обґрунтування практичної реалізації запропонованого алгоритму.

6. У п. 4.4 запропоновано комбінований метод розширення спектра таймерних сигналів із використанням ПРС-ПВП та ППРЧ, однак недостатньо обґрунтовано вибір параметрів усіх складових перетворення для забезпечення необхідного рівня структурної прихованості та завадостійкості сформованого сигналу.

7. В роботі трапляються деякі граматичні та стилістичні помилки, а також невласливі українській мові терміни

Вказані зауваження не знижують загального позитивного враження від дисертації, як з точки зору актуальності теми, так і наукової новизни та практичної цінності отриманих результатів.

Висновок про відповідність дисертації вимогам, які пред'являються до наукового ступеня доктора філософії

Дисертаційна робота Степанова Вадима Олександровича «Підвищення прихованості передавання широкосмугових таймерних сигналів на основі псевдовипадкового перескоку робочої частоти» є завершеною науково-дослідницькою роботою, яка містить нові науково обґрунтовані результати. У дисертації вирішено актуальну науково-прикладну задачу підвищення захищеності інформації на основі прихованості передавання сигнально-кодових конструкцій, що зумовлено зростаючими вимогами до забезпечення безпеки інформаційних систем в умовах постійного ускладнення загроз і методів несанкціонованого доступу до даних.

Тема і зміст дисертаційної роботи відповідають спеціальності 125 Кібербезпека, а отримані наукові та практичні результати є значущими для галузі знань 12 Інформаційні технології.

Зважаючи на актуальність теми дисертації, обґрунтованість наукових результатів, висновків та рекомендацій, їх наукову новизну та практичну цінність, повноту викладення матеріалу в наукових публікаціях, відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертація Степанова Вадима Олександровича відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, та вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», а її автор, Степанов Вадим Олександрович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 125 Кібербезпека.

Офіційний рецензент
кандидат технічних наук, доцент
кафедри кібербезпеки та технічного
захисту інформації Державного
університету інтелектуальних
технологій і зв'язку

Олексій ОНАЦЬКИЙ