

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.

Відгук складено на основі вивчення дисертації, опублікованих здобувачем наукових праць, а також документів, що свідчать про реалізацію та впровадження наукових досліджень.

1. Обґрунтування вибору теми дослідження

Вибір теми дисертаційного дослідження Степанова Вадима Олександровича зумовлений актуальністю проблеми забезпечення захисту передаваної інформації в сучасних системах радіозв'язку, особливо в умовах активної радіоелектронної протидії (РЕП). Сучасні засоби радіоелектронної розвідки та подавлення характеризуються високою здатністю до виявлення, аналізу, класифікації та придушення радіосигналів, що зумовлює необхідність розвитку методів підвищення прихованості передавання інформації на фізичному рівні.

Класичні методи розширення спектра, зокрема пряме розширення спектра на основі псевдовипадкових послідовностей (ПРС-ПВП) та псевдовипадковий перескок робочої частоти (ППРЧ), забезпечують підвищення завадостійкості та енергетичної прихованості сигналів, однак не повною мірою вирішують проблему їх структурного виявлення. У зв'язку з цим актуальним є розвиток методів формування широкосмугових сигналів із додатковою часовою невизначеністю, яку можна забезпечити використанням таймерних сигнальних конструкцій (ТСК) у поєднанні з ППРЧ.

Отже, вибір теми дисертаційної роботи Степанова Вадима Олександровича є обґрунтованим необхідністю розроблення та дослідження методів підвищення структурної прихованості передавання широкосмугових таймерних сигналів за рахунок поєднання часових і частотних механізмів формування сигнально-кодових конструкцій.

2. Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами і темами

Дисертаційна робота Степанова Вадима Олександровича відповідає основним нормативно-правовим та стратегічним документам України у сфері кібербезпеки та захисту інформації, зокрема Закону України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України», Закону України «Про захист інформації в інформаційно-комунікаційних системах» та Стратегії кібербезпеки України. Тематика дослідження узгоджується з науковими напрямами НАН України на 2024–2028 роки, зокрема у сфері теорії та комп'ютерних технологій інформаційної безпеки і кібербезпеки інформаційно-комунікаційних систем.

Зміст дисертаційної роботи відповідає стандарту вищої освіти та освітньо-науковій програмі підготовки докторів філософії за спеціальністю 125 Кібербезпека Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку. Дослідження спрямоване на розв'язання науково-

прикладного завдання підвищення прихованості передавання інформації шляхом використання таймерних сигнальних конструкцій, широкосмугових шумоподібних сигналів та псевдовипадкового перескоку робочої частоти.

Дисертаційне дослідження виконано 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). Основні результати, отримані Степановим Вадимом Олександровичем, використано під час виконання зазначеної НДР та включено до відповідного науково-технічного звіту.

3. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення

Дисертаційна робота Степанова Вадима Олександровича має логічну структуру, а її зміст відповідає визначеній меті, завданням та проблематиці дослідження. Виклад матеріалу є послідовним, аргументованим і відповідає вимогам наукового стилю.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету та завдання дослідження, наведено наукову новизну, практичне значення отриманих результатів, відомості про апробацію та публікації здобувача.

У першому розділі проведено аналіз умов функціонування систем радіозв'язку в умовах радіоелектронної протидії, розглянуто класичні методи забезпечення прихованості та завадостійкості передавання інформації, а також обґрунтовано доцільність використання таймерних сигнальних конструкцій.

У другому розділі досліджено теоретичні основи методів розширення спектра, зокрема ПРС-ПВП та ППРЧ, визначено їх переваги й обмеження та обґрунтовано перспективність інтеграції таймерних сигнальних конструкцій із зазначеними технологіями.

У третьому розділі розроблено математичні моделі таймерних сигнальних конструкцій, досліджено їх часові, спектральні, кореляційні характеристики та особливості кореляційного приймання. Обґрунтовано підвищення структурної прихованості за рахунок використання часового ступеня свободи кодування.

У четвертому розділі розроблено та досліджено методи комбінованого розширення спектра таймерних сигналів на основі ПРС-ПВП та ППРЧ. Проаналізовано вплив параметрів таймерних конструкцій і частотної перебудови на структурну прихованість та завадостійкість сформованих сигналів.

У висновках узагальнено основні результати дослідження, сформульовано наукові положення та практичні рекомендації. У додатках наведено матеріали щодо впровадження результатів, а також відомості про наукові публікації та апробацію результатів дисертації.

Структура дисертації є логічною, мета та завдання достатньою мірою відповідають темі й визначеній проблематиці дослідження. Робота є цілісним і завершеним науковим дослідженням. Дисертація оформлена відповідно до встановлених вимог до дисертаційних робіт.

Загальний обсяг дисертації становить 173 сторінки, з яких 121 сторінка припадає на основний текст. Список використаних джерел містить 98 найменувань.

За результатами досліджень за темою дисертаційної роботи Степановим

Вадимом Олександровичем опубліковано 15 наукових праць, у тому числі 7 наукових статей у періодичних виданнях України, включених до Переліку наукових фахових видань України, з яких одна стаття опублікована у журналі, що індексується наукометричною базою даних Scopus, та 8 тез доповідей у матеріалах наукових конференцій. Крім того, здобувач брав участь у виконанні однієї ініціативної науково-дослідної роботи за спеціальною тематикою.

Наведена кількість та характер наукових публікацій забезпечують достатню повноту висвітлення основних результатів дисертаційного дослідження та підтверджують їх апробацію у науковому середовищі.

Структура дисертації є логічною, мета та завдання відповідають темі дослідження. Матеріал викладено послідовно та аргументовано. Дисертація Степанова Вадима Олександровича є цілісним і завершеним дослідженням та оформлена відповідно до вимог Наказу МОН України від 12.01.2017 № 40 (із змінами).

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Наукові положення, висновки та практичні рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі Степанова Вадима Олександровича, є достатньо обґрунтованими та відповідають поставленій меті й завданням дослідження. Обґрунтування отриманих результатів базується на використанні математичного моделювання, теоретичного аналізу та дослідженні часових, спектральних, кореляційних і структурних характеристик таймерних сигнальних конструкцій.

Достовірність отриманих результатів забезпечується послідовним дослідженням властивостей таймерних сигналів, аналізом методів ПРС-ПВП і ППРЧ та дослідженням їх комбінованого застосування. У роботі обґрунтовано вплив параметрів ТСК, ширини спектра та характеристик ППРЧ на рівень прихованості й завадостійкість передавання інформації.

Сформульовані висновки логічно випливають із проведених теоретичних та експериментальних досліджень і відповідають змісту отриманих результатів. Практичні рекомендації щодо використання комбінованих методів розширення спектра таймерних сигналів є обґрунтованими та можуть бути використані під час розроблення систем захищеного радіозв'язку.

Отже, ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи можна оцінити як достатній.

5. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна

Основним науковим результатом дисертаційної роботи Степанова Вадима Олександровича є розвиток методів підвищення прихованості передавання інформації в системах радіозв'язку за рахунок інтеграції таймерних сигнальних конструкцій із технологіями ПРС-ПВП та ППРЧ.

До основних наукових результатів та положень, що характеризуються науковою новизною, належать:

1. Розроблено метод підвищення прихованості передавання інформації на основі комбінованого використання таймерних сигнальних конструкцій, ПРС-ПВП та ППРЧ, який забезпечує формування часової, кодової та частотної невизначеності сигналу та ускладнює його виявлення, класифікацію і структурний аналіз засобами радіоелектронної розвідки.

2. Удосконалено методи розширення спектра таймерних сигналів шляхом

адаптації технології ППРЧ до непозиційної структури ТСК. Запропоновано варіанти швидкої, повільної та багатоканальної перебудови робочої частоти, що дає змогу підвищити завадостійкість і прихованість передавання інформації.

3. Дістали подальшого розвитку методи оцінювання структурної прихованості таймерних сигнально-кодових конструкцій на основі аналізу кількості можливих реалізацій, часової невизначеності, кореляційних характеристик та параметрів частотної перебудови. Встановлено залежність рівня структурної прихованості від параметрів формування таймерних сигналів і характеристик ППРЧ.

4. Розроблено математичні моделі комбінованих шумоподібних таймерних сигналів, що враховують одночасний вплив таймерного кодування, ПРС-ПВП та ППРЧ. Це дозволило формалізувати процес формування комбінованих сигнально-кодових конструкцій та дослідити їх часові, спектральні й кореляційні властивості.

5. Встановлено особливості кореляційного приймання таймерних сигналів та показано обмеженість застосування класичних позиційних кореляційних приймачів для безпосереднього відновлення структури непозиційних таймерних сигнальних конструкцій.

У цілому отримані результати мають наукову новизну, оскільки спрямовані на розвиток методів формування та передавання широкосмугових таймерних сигналів із підвищеним рівнем структурної прихованості за рахунок інтеграції часового, кодового та частотного механізмів формування сигналу. Основні наукові результати відповідають темі, меті та завданням дисертаційного дослідження.

6. Значення роботи для науки, практики та суспільства

Наукове значення дисертаційної роботи Степанова Вадима Олександровича полягає у розвитку теоретичних і методичних засад підвищення прихованості передавання інформації в системах радіозв'язку шляхом використання таймерних сигнальних конструкцій та їх інтеграції з технологіями ПРС-ПВП і ППРЧ. Отримані результати розширюють наукові уявлення про формування структурної прихованості сигнально-кодових конструкцій за рахунок одночасного використання часової, кодової та частотної невизначеності.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розроблених моделей і методів під час створення та вдосконалення систем захищеного радіозв'язку, функціонування яких передбачається в умовах активної РЕП. Запропоновані підходи можуть бути використані для підвищення прихованості, завадостійкості та живучості радіоканалів, а також для ускладнення виявлення, класифікації та структурного аналізу сигналів засобами радіоелектронної розвідки.

Суспільне значення роботи визначається її спрямованістю на підвищення захищеності інформаційного обміну в сучасних системах радіозв'язку, зокрема в критично важливих та спеціальних інформаційно-комунікаційних системах. Результати дослідження можуть сприяти підвищенню надійності та безпеки передавання інформації в умовах сучасних загроз радіоелектронному середовищу.

Отже, дисертаційна робота має теоретичне, практичне та суспільне значення, а отримані результати можуть бути використані для подальшого

розвитку методів захищеного радіозв'язку.

Практичне значення отриманих результатів дисертаційної роботи Степанова Вадима Олександровича полягає у підвищенні рівня захисту передаваної інформації в системах радіозв'язку на основі застосування ТСК, ПРС-ПВП та ППРЧ.

Запропоноване комбіноване використання зазначених методів забезпечує підвищення структурної та енергетичної прихованості сигналів, завадостійкості та стійкості радіоканалів до РЕП, а також ускладнює виявлення, класифікацію та структурний аналіз передаваних сигналів засобами радіоелектронної розвідки.

Розроблені математичні моделі дають змогу оцінювати вплив параметрів ТСК, ПВП та частотної перебудови на характеристики сформованих сигналів і визначати доцільні параметри їх функціонування.

Практичну цінність також мають запропоновані варіанти швидкої, повільної та багатоканальної ППРЧ, адаптовані до непозиційної структури таймерних сигнальних конструкцій. Їх застосування створює можливість формування комбінованих шумоподібних сигналів із підвищеним рівнем прихованості та завадостійкості.

Отримані в дисертаційній роботі результати впроваджено в навчальний процес кафедри кібербезпеки та технічного захисту інформації Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку, що підтверджується відповідним актом впровадження. Практична цінність результатів також полягає в можливості їх використання під час інженерного проектування та вдосконалення радіотехнічних і телекомунікаційних систем з метою підвищення рівня захисту передаваної інформації на основі запропонованих методів формування та розширення спектра таймерних сигналів. Практичне використання основних результатів дослідження на підприємстві ТОВ «БФ «Секрет Сервіс» підтверджується відповідним актом впровадження.

7. Оформлення дисертації та дотримання вимог академічної доброчесності

Дисертаційна робота оформлена відповідно до встановлених вимог, написана науковою мовою з використанням сучасної термінології, що відповідає тематиці дослідження. Тема, зміст, мета, завдання та отримані наукові результати відповідають спеціальності 125 Кібербезпека галузі знань 12 Інформаційні технології.

За результатами аналізу змісту дисертації, наукових праць здобувача та наведених у роботі посилань на використані джерела можна зробити висновок про дотримання вимог академічної доброчесності. Наукові положення та результати, що становлять зміст дисертаційного дослідження, належним чином обґрунтовані та супроводжуються відповідними посиланнями на джерела. Ознак некоректного використання запозичених матеріалів, привласнення результатів інших авторів або використання наукових результатів без належного посилання на відповідні джерела не виявлено.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації

Відзначаючи актуальність теми дисертаційного дослідження, належний теоретичний рівень, практичну значущість та наукову новизну отриманих результатів, доцільно зазначити окремі дискусійні положення та зауваження, які можуть бути враховані для подальшого розвитку і вдосконалення запропонованих

у роботі наукових підходів.

1. У п. 1.2 наведено декілька сценаріїв оцінювання ефективності дій засобів радіоелектронної розвідки (формули (1.12)–(1.14)), однак недостатньо обґрунтовано, який із них є пріоритетним для сучасних умов радіоелектронної протидії та відповідно має визначати основні вимоги до підвищення прихованості передавання інформації. Зокрема, доцільно було б обґрунтувати пріоритетність протидії виявленню сигналу, структурному аналізу чи інформаційному розкриттю з урахуванням можливостей сучасних систем радіоелектронної розвідки.

2. У п. 2.4 розглянуто основні різновиди ППРЧ – швидкий, повільний та багатоканальний, наведено їх математичні моделі та основні переваги. Водночас недостатньо представлено їх порівняльний аналіз за показниками завадостійкості, прихованості, вимогами до синхронізації та складності технічної реалізації, що не дає змоги визначити переваги й обмеження кожного методу та обґрунтувати доцільність їх застосування залежно від умов функціонування системи радіозв'язку.

3. У п. 3.4 запропоновано алгоритм кореляційного приймання шумоподібних таймерних сигнальних конструкцій на основі аналізу екстремумів інтегральної функції, однак недостатньо обґрунтовано процедуру їх визначення. Зокрема, не зазначено часовий інтервал, у межах якого здійснюється пошук та ідентифікація значущого екстремуму, а також критерій його відокремлення від локальних максимумів і мінімумів, зумовлених шумами та завадами. Це потребує додаткового обґрунтування для підтвердження надійності відновлення часової структури таймерних сигнальних конструкцій.

4. У п. 4.5 показано зростання структурної прихованості комбінованого сигналу зі збільшенням кількості частотних позицій та частотних переходів. Водночас недостатньо оцінено, як збільшення цих параметрів впливає на складність практичної реалізації методу, зокрема на вимоги до синхронізації, швидкості перебудови частоти та апаратних ресурсів. Доцільним було б обґрунтувати раціональний вибір параметрів комбінованого розширення спектра з урахуванням цього компромісу.

5. У п. 4.6 наведено ентропійний аналіз комбінованого шумоподібного сигналу та обґрунтовано доцільність адаптивного керування його параметрами залежно від радіоелектронної обстановки. Водночас недостатньо конкретизовано критерії та правила вибору параметрів ТСК, ПВП і режиму ППРЧ залежно від стану каналу зв'язку. Доцільним було б визначити кількісні порогові значення або умови переходу між режимами ППРЧ та зміни інтегральної бази сигналу для обґрунтування практичної реалізації запропонованого адаптивного керування.

Загальні висновки щодо дисертаційної роботи

Степанов Вадим Олександрович представив самостійну та завершену кваліфікаційну наукову працю, у якій розв'язано поставлені наукові та науково-прикладні завдання, спрямовані на підвищення прихованості передавання широкосмугових таймерних сигналів на основі псевдовипадкового перескоку робочої частоти.

Актуальність і рівень розкриття поставленої проблематики, наукова новизна отриманих результатів, ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, а також повнота апробації результатів дослідження

відповідають 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 вимогам до оформлення дисертації, визначеним нормативними документами Міністерства освіти і науки України.

Вважаю, що Степанов Вадим Олександрович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії (PhD) за спеціальністю 125 Кібербезпека галузі знань 12 Інформаційні технології.

Офіційний рецензент
професор кафедри інженерії
програмного забезпечення
факультету інформаційних
технологій та кібербезпеки
Державного університету
інтелектуальних технологій і зв'язку
доктор технічних наук

Гаджиєв Матін Магсуд-огли