

Аналіз проблеми вибору каналу зв'язку в гетерогенних системах передавання даних військового призначення

Analysis of the Channel Selection Problem in Heterogeneous Military Data Transmission Systems

Максим Бондаренко

Maksym Bondarenko

Старший науковий співробітник, e-mail hck.dot@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-7902-9440>

Senior Researcher, e-mail hck.dot@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-7902-9440>

Науково-дослідний інститут, м. Київ, Україна

Research Institute, Kyiv, Ukraine

Received: August 6, 2026 | Revised: August 26, 2026 | Accepted: August 31, 2026

УДК 621.391:623.61

DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2026.16.4.13>

Мета роботи. Структурувати задачу вибору каналу зв'язку в гетерогенних системах передавання даних військового призначення та визначити вимоги до механізму перемикавання за умов неповних і спотворених даних про стан каналів.

Методи дослідження. Застосовано системний підхід, аналіз умов роботи засобів реального часу, систематизацію чинників погіршення каналу, структурно-функціональний і порівняльний аналіз. Інформаційну базу становили доктринальні документи, наукові публікації та відкриті матеріали про досвід протидії російському вторгненню.

Результати дослідження. Задачу вибору каналу розкладено на чотири взаємопов'язані складники: зіставлення спільних і специфічних показників, оцінювання незадіяних каналів, визначення моменту переходу та забезпечення стійкості рішення. Встановлено, що дані про канали мають різну повноту й достовірність, а порогове перемикавання створює ризик запізненого переходу. Поступовий розвиток частини чинників дає змогу ухвалювати рішення завчасно, але збільшує ризик зайвих переходів. Сформульовано 8 вимог до механізму вибору каналу.

Теоретична цінність дослідження. Удосконалено постановку задачі вибору каналу через її декомпозицію на взаємозалежні складові та врахування обмеженої інфраструктурної підтримки.

Практична цінність дослідження. Результати можуть бути використані під час розроблення систем зв'язку безпілотних комплексів, постів спостереження та інших засобів, що працюють за умов радіоелектронної протидії.

Обмеження / подальші дослідження. Результати не перевірено експериментально. Подальші дослідження передбачають побудову інтегральної оцінки, профілю каналу та прогнозу його придатності.

Тип статті. Теоретична стаття.

Purpose. To structure the problem of communication channel selection in heterogeneous military data transmission systems and to determine the requirements for a switching mechanism under conditions of incomplete and distorted channel-state information.

Methodology. The study employs a systems approach, an analysis of the operating conditions of real-time systems, a systematization of factors contributing to channel degradation, and structural-functional and comparative analysis. The information base comprises doctrinal documents, scientific publications, and publicly available materials on the experience of countering the Russian invasion.

Findings. The channel selection problem is decomposed into four interrelated components: comparison of common and channel-specific indicators, assessment of inactive channels, determination of the switching time, and maintenance of decision stability. The study establishes that channel-state data vary in completeness and reliability, while threshold-based switching creates a risk of delayed handover. The gradual development of certain degradation factors enables proactive decision-making but increases the risk of unnecessary handovers. Eight requirements for the channel selection mechanism are formulated.

Theoretical implications. The study refines the formulation of the channel selection problem by decomposing it into interdependent components and accounting for the limited infrastructure support available to a node under the conditions considered.

Practical implications. The findings may be used to develop communication systems for unmanned platforms, observation posts, and other systems operating under electronic warfare conditions.

Limitations and future research. The findings have not been experimentally validated. Future research will focus on developing an integrated assessment, a channel profile, and a prediction of channel suitability.

Article type. Theoretical article.

Ключові слова: гетерогенна система передавання даних; різномірні канали зв'язку; вибір каналу зв'язку; перемикання каналів; радіоелектронна боротьба; безперервність інформаційного обміну; системи реального часу; військовий зв'язок; безпілотні комплекси.

Keywords. Heterogeneous Data Transmission System; Heterogeneous Communication Channels; Communication Channel Selection; Channel Switching; Electronic Warfare; Continuity of Information Exchange; Real-Time Systems; Military Communications; Unmanned Systems.

Вступ

Розвідувальні дані стали основним ресурсом сучасних збройних конфліктів. Їх здобувають системи, що працюють у реальному часі: безпілотні авіаційні та наземні роботизовані комплекси, сенсори відео- та акустичного виявлення, стаціонарні пости моніторингу, радіолокаційні станції та засоби радіотехнічної розвідки. За аналізом цих даних планується ураження об'єктів, виділяється ресурс дальнього вогневого впливу та формується оцінка дій і задуму противника.

Ці дані характеризуються швидкою втратою цінності, причому неоднаковою для різних типів відомостей. Координати рухомої цілі втрачають придатність найшвидше, відомості про появу БпЛА в районі зберігають її дещо довше, тоді як дані про інженерне обладнання району залишаються придатними значно довше.

Паралельно невпинно зростає кількість розвідувальних і ударних засобів. У смузі одного угруповання одночасно працюють десятки, а то й сотні безпілотних апаратів, роботизованих платформ, сенсорів виявлення та камер спостереження [1]. Разом із їх кількістю зростає обсяг даних, який потрібно передати, що потребує великої кількості каналів зв'язку.

Кожен спосіб передавання має власні технічні та експлуатаційні обмеження. Радіозасоби автономні й не залежать від сторонньої інфраструктури, проте обмежені виділеною смугою частот і можуть подавлятися засобами радіоелектронної боротьби противника [2]. Мережі стандарту LTE забезпечують високу швидкість, але потребують наявної інфраструктури оператора. Низькоорбітальні супутникові системи набули значного поширення як засіб забезпечення зв'язку [1], проте доступність Starlink залежить від географічних і сервісних обмежень оператора, а сама послуга — від рішень приватної компанії [3]. Європейська багатоорбітальна система IRIS² має зменшити таку залежність; надання урядових послуг планується до 2030 року.

З цієї причини жоден окремий спосіб передавання даних не гарантує сталого інформаційного потоку за всіх умов. Альтернативою є поєднання кількох систем зв'язку в межах однієї системи. У разі втрати одного каналу обмін може продовжуватися іншим, а після відновлення — повертатися на попередній. Такий підхід продиктований еволюцією війни: противник удосконалює засоби протидії, тому канал, який раніше працював, може бути пригнічений або скомпрометований. Отже, багатоканальність є одним із засобів збереження інформаційного обміну.

Сучасні підходи до використання кількох каналів мають вигляд резервування та дублювання. Критично важливі системи забезпечуються двома або трьома незалежними каналами. Повідомлення передається кількома шляхами одночасно, а перехід на резервний канал виконує оператор або автоматизована система. Ці підходи дають результат, але потребують вдосконалення та підвищення ефективності. Вони витрачають обмежений частотний і каналний ресурс, збільшують демаскувальні ознаки системи та залежать від навичок конкретного оператора чи від неактуальних технічних рішень.

Якість зв'язку в сучасних бойових діях може поступово погіршуватися під впливом відстані, рельєфу чи навантаження або різко змінюватися внаслідок цілеспрямованого подавлення. Поширені порогові механізми реагують після фіксації погіршення — падіння рівня прийнятого сигналу, зростання втрат пакетів або розриву з'єднання. Це створює ризик затримок, порушення часових обмежень або втрати частини повідомлень. Далі потрібен час на уточнення параметрів інших каналів, перемикання та відновлення з'єднання. Якщо порогові значення задаються заздалегідь і не адаптуються до обстановки, короточасне або періодичне подавлення може спричинити надмірні переходи. Окремою проблемою є спотворення результатів вимірювань, на підставі яких ухвалюють рішення. Унаслідок цього обраний канал може виявитися не кращим, а лише таким, що здавався кращим на момент

вимірювання, тоді як умови в мережі та інтенсивність потоків даних змінюються після ухвалення рішення [4].

З огляду на це, актуальною є задача визначення, за якими ознаками слід порівнювати різноманітні канали та на якій підставі ухвалювати рішення про вибір одного з них у конкретний момент часу.

Метою роботи є структурування задачі вибору каналу зв'язку в гетерогенних системах передавання даних військового призначення та визначення вимог до механізму перемикавання за умов неповних і спотворених даних про стан каналів. Для її досягнення потрібно з'ясувати, за якими показниками зіставляються канали різних родів зв'язку, які дані про них доступні вузлу під час роботи, які чинники погіршення залишають ознаки до втрати каналу і що робить рішення про перехід стійким.

Наукова новизна дослідження полягає в уточненні постановки задачі вибору каналу зв'язку в гетерогенних системах передавання даних військового призначення шляхом її декомпозиції на чотири взаємозалежні складники та визначення вимог до механізму перемикавання за умов неповних і спотворених даних про стан каналів. Запропонований підхід створює теоретичну основу для подальшого розроблення механізму вибору каналу з урахуванням прогнозування його придатності та стійкості рішення.

Огляд літератури

Цільовий аналітичний огляд вітчизняних і зарубіжних праць свідчить, що оцінювання якості та стійкості каналів, перемикавання та вибір мережі за сукупністю параметрів досліджують досить широко. У межах відібраної сукупності джерел ці питання переважно розглядаються окремо; тому стаття зосереджена на їх поєднанні в єдиній постановці задачі, не претендуючи на висновок про відсутність усіх можливих комплексних підходів.

Межі підходу задає нормативно-доктринальна база. Розвідувальна діяльність та поведінка з розвідувальною інформацією врегульовані окремим законодавством [5]. Вимоги до самої системи зв'язку встановлює Настанова зі зв'язку Збройних Сил України ДДП 6-26.22 [6], де визначено 5 основних вимог — постійну готовність, стійкість, мобільність, пропускну спроможність і розвідвахищеність. Доктрина “Зв'язок та інформаційні системи” ВКП 6-00(01).01 [7] конкретизує ці вимоги для інформаційно-комунікаційної складової системи управління. Військовий стандарт 01.112.001-2006 [8] фіксує класифікацію зв'язку за видами і родами — радіозв'язок прямої видимості, іоносферний, транкінговий, радіорелейний, тропосферний, супутниковий, проводовий. Це підтверджує, що гетерогенність системи військового зв'язку є нормативно закріпленою її властивістю. А множина каналів, серед яких здійснюється вибір, окреслена не довільно, а за стандартом.

Найповніше формалізували оцінювання системи зв'язку Коваленко, Зарубенко, Масесов і Драглюк [9], ототожнивши вимоги ДДП 6-26.22 до одного показника ефективності з вагами. Автори описали розвідвахищеність через дальність виявлення та розміщення станцій радіорозвідки противника, врахували режими роботи на випромінювання і побудували розрахунок на основі геопросторових даних. Така побудова системи зв'язку планується заздалегідь, тому вона не може реагувати на зміни стану в режимі реального часу.

Носков [10] розглянув військові системи передачі даних за архітектурними ознаками та запропонував інтегральний індекс їхньої захищеності. Для погіршення умов зв'язку введено режим деградації, який передбачає перехід на резервні канали з меншою швидкістю. Побудова індексу виключно за захищеністю не дозволяє врахувати інші характеристики поточного стану каналу.

Обмеженість можливостей використання одного каналу підтверджує робота Кувшинова і Пікуля [11]. Автори оперують потужністю засобів, топологією та антенними

системами для послаблення дії РЕБ, але не відповідають на питання: що робити, коли ресурс параметрів каналу вичерпано?

Ключове значення для теми має робота Obayiwana і Falowo [12], у якій систематизовано багатокритеріальні методи вибору мережі в гетерогенних бездротових мережах. Автори розглянули механізми перемикання й підтвердили, що рішення має ґрунтуватися на сукупності критеріїв, а не на одному показнику якості. Водночас переважна більшість розглянутих методів реагує на поточні значення параметрів, а прогнозування їх зміни застосовується лише в поодиноких схемах, що спричиняє запізнілі або часті перемикання. Окремо розглядають схеми, у яких рішення ухвалює сам термінал, який не має повного уявлення про стан інших мереж. Запропонований ними спосіб усунути цю неповноту полягає в отриманні відомостей від мережевого об'єкта керування ресурсами.

Специфіку рухомих носіїв врахували Lee, Choi, Kim [13], запропонувавши перемикання мережі для БПЛА. В основі лежить метод нечіткої логіки, який враховує висоту польоту та швидкість руху апарата. Недоліком є орієнтація на цивільні стільникові мережі та використання обмеженої кількості параметрів.

Роботи Alshaibani, Shayeа та співавторів [14, 15] присвячені узагальненню особливостей керування зв'язком БПЛА в надщільних гетерогенних мережах. Автори систематизували причини частих перемикань між мережами та проаналізували методи їх зменшення за допомогою машинного навчання. Ці дослідження зосереджені на перемиканні в межах інфраструктури загального користування, яка сама надає вузлу відомості про доступні мережі, а прогнозування в них ґрунтується на даних про положення та рухливність апарата.

Розглянуті праці висвітлюють оцінювання стану каналу, виявлення його погіршення та перемикання між мережами з різним ступенем повноти. У проаналізованій вибірці не виявлено підходу, який одночасно поєднував би своєчасне визначення погіршення, автономне оцінювання незадіяних каналів і стійкий перехід без порушення встановлених вимог до інформаційного обміну. Це визначає дослідницьку прогалину та обґрунтовує необхідність формування комплексної постановки задачі щодо вибору каналу зв'язку в умовах, розглянутих у статті.

Методологія дослідження

Методологія дослідження побудована на системному підході, що дає змогу комплексно розглянути проблему вибору каналу зв'язку в гетерогенних системах передавання даних. Інформаційну базу становлять доктринальні та керівні документи з військового зв'язку, наукові праці з оцінювання каналів і функціонування систем передавання даних у реальному часі, а також відкриті матеріали, що узагальнюють досвід протидії російському вторгненню.

Джерела відбирали за трьома групами. Першу становили чинні керівні та доктринальні документи з військового зв'язку, які визначають вимоги до системи та класифікацію каналів. До другої групи увійшли наукові публікації з оцінювання стану каналів, багатокритеріального вибору мережі та перемикання між мережами, переважно за останні 7 років, а також базові праці, у яких сформульовано відповідні концепції. Пошук проводили у Scopus, Web of Science і вітчизняних фахових виданнях за тематичними поєднаннями понять “heterogeneous network selection”, “handover”, “predictive handover”, “channel assessment”, “military data transmission” та їх українськими відповідниками. До аналізу включали публікації, безпосередньо пов'язані з оцінюванням стану каналів, вибором мережі, перемиканням між каналами та функціонуванням систем передавання даних у реальному часі; джерела, нерелевантні за предметом дослідження, виключали. Третю групу утворили відкриті матеріали, що узагальнюють досвід протидії російському вторгненню. Огляд має цільовий аналітичний, а не систематичний характер; тому висновки обмежені відібраною сукупністю джерел.

Метод аналізу застосовано для розгляду умов, за яких працюють засоби, що передають дані в реальному часі. За його допомогою виокремлено чинники, від яких залежить

придатність каналу, та встановлено, які з них зумовлені фізичними умовами роботи, а які є наслідком дій противника.

Метод систематизації застосовано для впорядкування чинників погіршення каналу. Ознакою поділу обрано наявність спостережуваних ознак до втрати каналу.

Структурно-функціональний аналіз використано для розкладу процесу переходу на послідовні кроки. Це дало змогу встановити етапи, на яких виникає ризик затримки, порушення часових обмежень або втрати даних, і зіставити реактивний та проактивний порядок дій за складом і тривалістю етапів.

Порівняльний метод застосовано для зіставлення наявних підходів до вибору каналу. Кожен підхід оцінено за тим, яку частину розглянутої задачі він розв'язує та які складнощі залишає поза реалізацією.

Метод узагальнення використано на завершальному етапі для зведення виявлених складнощів до єдиної задачі та формулювання вимог до її розв'язання. Складники виділено за питаннями, на які потрібно відповідати перед кожним кроком. Що зіставляти між собою, за якими даними судити про незадіяні канали, коли ухвалювати рішення і чи виконувати його. Кожне з цих питань має бути вирішене перед переходом, тому такий набір складників було прийнято за основу подальшого аналізу.

Дослідження має аналітичний характер і не містить експериментальної перевірки на конкретних зразках техніки. Наведені кількісні оцінки взято з відкритих джерел. Часові характеристики впливу подано якісно, оскільки перевірених кількісних даних для розглянутих умов у відкритому доступі немає.

Результати дослідження

На сучасному полі бою одночасно діють розвідувальні та ударні БпЛА, наземні роботизовані комплекси, винесені пости спостереження й моніторингу, дистанційно керовані бойові модулі, що працюють у реальному часі. З досвіду протидії російському вторгненню видно, що найуразливішими виявляються не платформи, а саме канали їхнього зв'язку, коли на них впливає радіоелектронне подавлення [11].

Це добре видно на прикладі наземних роботизованих комплексів. Логістичний або евакуаційний комплекс у комплекті із засобами зв'язку коштує від кількох сотень тисяч до кількох мільйонів гривень залежно від типу платформи та комплектації [16]. Втрата кожного має відчутну ціну. На перший погляд, задача зв'язку в даному випадку вирішується встановленням супутникового терміналу (пропускної спроможності вистачає як для керування, так і для передавання відео в хорошій якості). В ході виконання завдань комплекс заходить у лісосмугу, під крони дерев або в міську забудову. Пряма видимість на супутники зникає і, як наслідок, канал перестає працювати. Залежність від стабільного каналу зв'язку названа одним із основних обмежень наземних роботизованих комплексів [17].

Практика підтверджує, що багатоканальність для таких засобів не є надлишковою, а навпаки є умовою виконання завдання. Вартість додаткового каналу передавання на порядки менша за вартість самого комплексу, тоді як його наявність визначає успішність виконання поставленого завдання. Саме тому резервування каналів прямо передбачене керівними документами зі зв'язку [6, 7]. Процес виявлення погіршення обміну, вибору альтернативи з різнорідних каналів та переходу без втрати даних стикається з рядом прикладних проблем.

Порівняння показників каналів між собою. У мережах загального користування цю задачу розв'язують багатокритеріальними методами за спільним набором показників (пропускною спроможністю, затримкою, часткою втрачених пакетів тощо) [12]. Підхід працює тому, що альтернативи однорідні й відрізняються лише значеннями. В розглянутій задачі канали належать до різних родів зв'язку і спільного опису вони не мають, а пряме порівняння таких каналів за одним показником є некоректним.

Висока пропускна спроможність не компенсує відсутності покриття. Велика дальність не усуває ані ризику подавлення, ані демаскування вузла. Кожен показник описує лише одну сторону придатності. Канал, обраний за найкращим значенням однієї величини, може виявитися непридатним за тією властивістю, яка в цей момент є визначальною.

Одним зі способів розв'язання цієї проблеми є приведення різнорідних величин до спільної шкали з подальшим їх зведенням в інтегральну оцінку за ваговими коефіцієнтами. Що, своєю чергою, породжує проблему задання меж, у яких величина змінюється (яке її значення вважати найкращим, а яке граничним). Для кожного роду зв'язку ці межі свої, і задає їх розробник. Так само задаються вагові коефіцієнти, які визначають, який параметр оцінки для засобу важливіше. Порівняння каналів не зводиться до вибору кращого числового значення й потребує окремої побудови єдиної оцінки за величинами, доступними вузлу під час роботи.

Моніторинг стану незадіяних каналів. Багатокритеріальні методи припускають, що значення показників для всіх альтернатив каналів доступні одночасно й однаково точні [12]. Для розглянутої задачі це припущення не виконується. Система отримує найбільш точні показники лише щодо того каналу, через який відбувається обмін інформацією. З нього надходять поточна швидкість, затримка та частка втрачених пакетів. Для решти каналів доступні лише ті показники, які надає коротке пробне звернення. Поведінка каналу під навантаженням стає відомою вже після переходу на нього.

Такі звернення теж потребують ресурсу. Кожне з них супроводжується додатковим виходом в ефір, витратою енергії носія та появою додаткової демаскувальної ознаки, тому виконувати їх часто неможливо. Збільшення інтервалів між ними означає ухвалення рішення на основі застарілих даних. Радіообстановка змінюється динамічно, тому канал, який був кращим на момент останнього вимірювання, на момент переходу цілком може виявитися гіршим за поточний.

В цьому контексті достовірність вимірювань також може бути викривленою. За потужних завад високий рівень прийнятого сигналу не завжди означає, що канал придатний для передавання даних. Для цивільних мереж такі похибки є природними і випадковими, вони спричинені рухом абонента та коливанням навантаження. В умовах бойових дій вони створюються навмисно засобами противника.

Виходячи з цього, вибір каналу доводиться робити на неповних, застарілих або частково хибних даних. Наскільки точними будуть ці дані, настільки точною буде й побудована на них оцінка.

Запас часу та момент ухвалення рішення. Різні чинники погіршення інформаційного обміну по-різному проявляються до втрати каналу, тому й запас часу на реакцію виходить різним. У табл. 1 зібрано їх узагальнення, зроблене на підставі досвіду бойового застосування та наявних досліджень.

Наведені чинники різняться не стільки швидкістю, скільки наявністю ознак, які можна спостерігати до втрати каналу. Дальність, рельєф, рух носія та зростання навантаження поступово змінюють показники каналу, а не миттєво, залишаючи час на підготовку альтернативи. Ураження вузла ознак не має взагалі – канал зникає без попередження. Радіоелектронне подавлення посідає проміжне місце. Воно може наростати в міру наближення до засобу подавлення, а може вмикатися раптово, і від цього залежить, чи є час на реакцію.

Слід відзначити, що просто підготувати альтернативний канал замало — він має бути стійким до чинника, який вивів з ладу основний канал. А отже, склад резерву повинен містити канали різної фізичної природи. Найкраще це видно на прикладі резервування з двох радіоканалів. Рознесення за частотою підвищує стійкість до вузькосмугового подавлення, проте не рятує, коли обидва канали належать до одного типу систем, які один комплекс уражають одночасно.

Таблиця 1: Чинники погіршення каналу та наявність ознак до його втрати

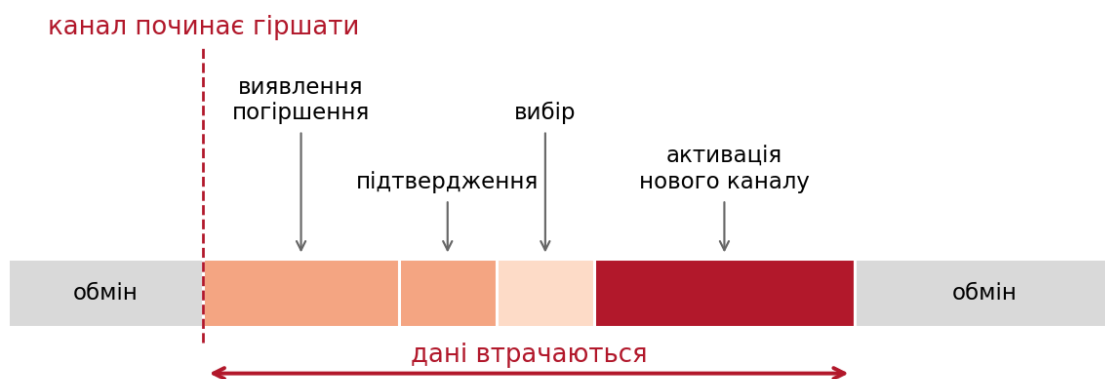
Чинник	Вплив	Ознаки погіршення
Дальність, рельєф, умови поширення радіохвиль	Поступове зниження відношення сигнал/шум, накопичення помилок	Наростають поступово
Рух носія і зміна положення відносно базової компоненти	Вихід за межі дальності, затінення, розрив прямої видимості	Наростають поступово, при затіненні можуть бути відсутні
Зростання навантаження та конкуренція вузлів за спільний ресурс	Зростання затримки, падіння пропускної спроможності	Наростають поступово
Радіоелектронне подавлення	Зростання рівня завад, зрив синхронізації, втрата каналу	Залежать від способу застосування
Ураження вузла або ретранслятора	Одноразова втрата каналу без відновлення	Відсутні

Джерело: систематизовано автором на основі [2, 11, 18]

Автоматизована станція перешкод Р-330Ж “Житель” веде виявлення, пеленгування та подавлення переносних мобільних станцій, систем пересувного супутникового зв'язку та приймачів супутникової навігації [18]. Один комплекс, таким чином, одночасно діє на засоби різного призначення – зв'язку й навігації.

Натомість канали різної фізичної природи вражаються різними чинниками. Радіолінія та супутниковий канал працюють у різних діапазонах і за різних умов. Радіолінія не потребує відкритого неба; супутниковий канал не залежить від наявності наземної інфраструктури оператора. Тому засіб, який виводить з ладу один із них, не обов'язково діє на інший. Повної незалежності це не дає. Ураження вузла, втрата живлення чи виведення з ладу антенної системи позбавляють усіх каналів одночасно, незалежно від їхньої природи. Тому резерв різної природи не дає гарантії, а лише зменшує ймовірність одночасної втрати каналів. Керівні документи вимагають резервування каналів, але не визначають ані його складу, ані моменту задіяння.

Наявні механізми перемикавання працюють реактивно. Рішення ухвалюється вже після того, як погіршення відбулося, за падінням рівня сигналу, зростанням частки втрачених пакетів або розривом з'єднання. Порядок дій за такої схемою показано на рис. 1.

**Рисунок 1:** Порядок дій реактивного методу

Джерело: розроблено автором.

За такої схеми виникають два інтервали, протягом яких можливі втрата даних або порушення встановлених часових обмежень. Перший припадає на час виявлення стійкого погіршення, коли обмін ще триває каналом, який уже не забезпечує потрібної якості. Другий

пов'язаний з активацією нового каналу після втрати попереднього. Тривалість активації неоднакова для різних родів зв'язку.

Зменшити тривалість порушення інформаційного обміну за реактивного перемикання можна шляхом завчасного ухвалення рішення про перехід. За умови своєчасного виявлення погіршення та наявності придатного альтернативного каналу підготовка переходу може здійснюватися до втрати попереднього каналу, що дає змогу зменшити або уникнути перерви в обміні (рис. 2).

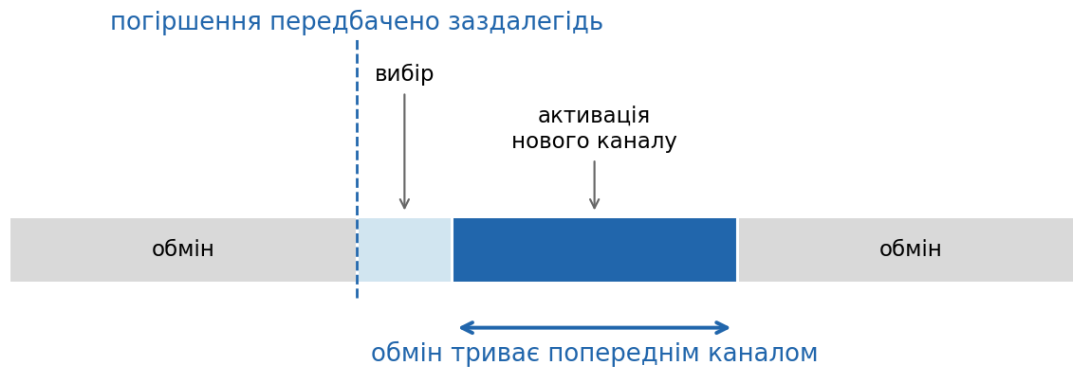


Рисунок 2: Порядок дій проактивного методу

Джерело: розроблено автором.

Випередження можливе за умови поступового погіршення якості каналу. Віддалення від базової компоненти, вихід носія із зони покриття, затінення рельєфом або забудовою поступово змінюють показники каналу, а не миттєво. Сюди ж належить і частина випадків радіоелектронного подавлення. Коли носій рухається в бік засобу подавлення, рівень завад у смузі наростає з наближенням, відношення сигнал/шум поступово знижується, а частка повторних передач зростає ще до того, як обмін припиниться. Канал у всіх цих випадках ще працює, але тенденція вже зрозуміла. За наявності достатнього запасу часу та придатного альтернативного каналу виявлена тенденція може бути використана для підготовки переходу до припинення обміну через поточний канал.

Вирішальним стає не сам факт погіршення, а ознаки, що з'являються раніше за нього. Реактивна схема реагує на подію, тоді як проактивне рішення потребує оцінювання тенденції. Це змінює вимогу до системи — вона має не фіксувати втрату, а розпізнавати наближення до неї.

Нестійкість рішення про перехід. Формально правильно ухвалене рішення про перехід у кожен окремий момент часу може виявитися гіршим за бездіяльність. Причина в тому, що стан каналу коливається, а правило вибору реагує на кожне коливання окремо.

Яскравим прикладом є подавлення, що діє короткими сплесками. Система фіксує погіршення й залишає канал, який відновився б самостійно. На новому каналі картина повторюється, і система повертається назад. Виникає ефект “пінг-понгу”, добре відомий у мережах загального користування [15]. Час, витрачений на самі переходи, стає більшим, ніж вигравш від них.

Передчасне реагування на недостатньо підтверджені ознаки погіршення стану каналу може загострювати цю проблему. Рішення про перехід ухвалюється на основі прогнозних індикаторів, які вказують лише на можливе погіршення якості зв'язку. Водночас частина таких ознак може не підтвердитися. Наприклад, короткочасний сплеск завади може припинитися, а якість каналу — відновитися, хоча перехід на альтернативний канал уже відбувся. У такому разі вигравш у часі супроводжується зниженням обґрунтованості рішення та збільшенням кількості необов'язкових переходів. Отже, надмірно раннє реагування може підвищувати

чутливість системи до тимчасових коливань, що потребує узгодження швидкості прийняття рішення з достовірністю прогнозних ознак.

Щоб цього уникнути, оцінювати треба не лише поточний стан каналу, а й те, скільки часу він ще залишиться придатним. Прогноз тривалості придатності дає підставу відрізнити короточасний сплеск, який перечекати вигідніше, від стійкого погіршення, коли перехід справді потрібен.

Стан розв'язання задачі в наявних підходах. Розглянуті складнощі окреслюють задачу, яку належить розв'язати. Частину з них наявні підходи вже вирішують, проте кожен закриває свою частину, не формуючи цілісного підходу (табл. 2). Статус у таблиці показує, чи розв'язує підхід відповідний складник. Позначення “частково” означає, що розв'язання є, але воно потребує умов, яких у розглянутій задачі немає. Це прогнозні дані, навігація або підтримка з боку мережі.

Таблиця 2: Розв'язання складників задачі в наявних підходах

Підхід	Зіставлення різномірних каналів	Оцінювання незадіяних каналів	Запас часу до втрати	Стійкість рішення	Автономність від інфраструктури
Постійне дублювання каналів	-	-	-	-	+
Порогове перемикавання за рівнем сигналу	-	-	-	-	+
Багатокритеріальний вибір мережі [12]	+	±	±	±	±
Керування перемиканням засобами машинного навчання [14, 15]	±	-	±	+	-
Оцінювання системи зв'язку за інтегральним показником [9, 10]	±	-	-	-	-
Перемикавання за прогнозом положення носія [13]	-	-	+	-	±
Служба безшовного переходу з підтримкою мережі [19, 20]	+	+	-	-	-

Джерело: систематизовано автором за джерелами, наведеними в таблиці.

Позначення: + — складник безпосередньо враховано в підході; ± — складник враховано частково або за наявності додаткових умов; – — складник безпосередньо не розглядається. Оцінювання виконано за функціональними можливостями підходів, описаними у відповідних джерелах.

Жоден із розглянутих підходів не закриває всі складники одночасно. Дублювання і порогове перемикавання взагалі не порівнюють канали між собою. Багатокритеріальні методи розв'язують зіставлення показників, але оцінюють лише поточний стан. Оцінювання системи за інтегральним показником дає змогу згорнути різномірні вимоги в єдину оцінку, проте воно описує систему, а не окремий канал. Прогноз використовується лише в частині підходів, причому прогнозується показник сигналу або положення носія, а не придатність каналу як такого.

Оцінювання незадіяних каналів здійснюється лише за рахунок відомостей, що надає мережа. Для вузла, що працює без такої підтримки, цей складник залишається нерозв'язаним.

Виявлені складники дають змогу записати задачу в загальному вигляді. Вузол має скінченну множину каналів $C = \{c_1, \dots, c_n\}$ різних родів зв'язку, і в кожен момент часу t обмін ведеться одним із них. Про кожен канал вузол знає лише те, що показують його власні вимірювання. Для каналу, який несе навантаження, доступні більш повні оперативні дані; для решти — переважно результати коротких пробних звернень та попередніх вимірювань. За умов радіоелектронного подавлення отримані показники можуть бути спотворені.

Звідси виникають дві величини, потрібні для розв'язання. Перша — інтегральна оцінка придатності каналу $U_i(t)$. Її обчислюють шляхом зведення різнорідних показників до спільної шкали. Друга — прогнозна оцінка подальшої поведінки каналу $R_i(t)$. Вона характеризує ризик втрати придатності каналу протягом заданого прогнозувального горизонту та дає змогу відрізнити короточасне погіршення від стійкої тенденції до втрати придатності. Така оцінка дає змогу враховувати ризик погіршення стану каналу під час ухвалення рішення щодо перемикання. Оцінювати обидві величини потрібно не лише для задіяного каналу, а й для решти, інакше перехід виконується наосліп. Обчислюються вони не лише за останнім вимірюванням, а й за попередніми. Отже, для кожного каналу вузол накопичує впорядкований у часі набір відомостей. Це поточні значення показників, історія їхніх змін та прогноз подальшої поведінки каналу, побудований на цій основі. Такий набір далі називається профілем каналу.

Шукане правило вибору π за профілями каналів визначає канал для наступного моменту часу:

$$\pi: \{M_i(t)\} \rightarrow c(t+1),$$

де $M_i(t) = (U_i(t), R_i(t))$, $U_i, R_i \in [0, 1]$.

Правило має мінімізувати сумарний час порушення інформаційного обміну з урахуванням витрат, пов'язаних із переходом між каналами. Ціна переходу $S(c_i \rightarrow c_j)$ може враховувати тривалість перерви в обміні та інші ресурсні витрати, конкретний склад яких визначається реалізацією системи.

Вимоги до механізму вибору каналу. З розглянутих складників і наведеної постановки впливає перелік вимог, яким має відповідати механізм вибору каналу в умовах розгляду.

1. Оцінювання каналу за сукупністю показників, а не за одним із них.
2. Зведення різнорідних показників до спільної шкали з обґрунтованими межами нормалізації.
3. Робота з неповними даними про канали, що не несуть навантаження.
4. Оцінювання достовірності вимірювань за умов радіоелектронного подавлення.
5. Прогнозування подальшої поведінки каналу з оцінюванням ризику втрати придатності протягом заданого горизонту прогнозування та, за наявності достатніх даних, очікуваного часу до її втрати.
6. Урахування ціни переходу.
7. Стійкість рішення, що запобігає необґрунтованим частим повторним переходам між тими самими каналами.
8. Автономність від мережевої інфраструктури (рішення за власними вимірюваннями вузла).

Ці вимоги є взаємопов'язаними. У запропонованій постановці прогнозування придатності спирається на оцінювання стану каналу, а забезпечення стійкості рішення потребує врахування витрат, пов'язаних із переходом. Побудова інтегральної оцінки U_i та прогнозової оцінки R_i , які лежать в основі більшості сформульованих вимог, є предметом подальших досліджень.

Обговорення

Описані проблеми виявилися не переліком незалежних питань, а описом однієї задачі з різних боків. Спроба усунути будь-яку з них поодиночі впирається в наступну. Точніша оцінка каналу нічого не дає без своєчасного рішення, а своєчасне рішення, своєю чергою, породжує нестійкість. Саме цим пояснюється, чому наявні підходи, коректні кожен у своїх межах, у сукупності не дають працездатного розв'язання.

Найповніше досліджено оцінювання каналу. Obayiwana і Falowo [12] систематизували багатокритеріальні методи вибору мережі й показали, що рішення має спиратися на сукупність критеріїв, а не на один показник. Результати проведених досліджень підтверджують цей висновок. Однак повнота критеріїв не закриває завдання. Вона забезпечує коректний вибір каналу, але запізнile рішення щодо перемикання робить цей результат безглуздим.

Коваленко, Зарубенко, Масесов і Драглюк [9] звели вимоги керівних документів до єдиного показника з ваговими коефіцієнтами. Носков [10] запропонував інтегральний індекс захищеності з переходом на резервні канали у разі погіршення умов. Обидві роботи підтверджують доцільність згортки різнорідних вимог у єдину оцінку. Різняться вони тим, коли ця оцінка застосовується: перша робота — під час планування системи, друга — вже під час роботи. Задачу вибору каналу це все одно не закриває. Оцінка в обох випадках описує систему або режим її роботи, а не окремий канал. Перехід відбувається на заздалегідь визначений резерв, тому порівняння каналів між собою в такій схемі не виникає.

Значно менше уваги приділено моменту ухвалення рішення. Lee, Choi, Kim [13] визначається за передбачуваним виходом із зони покриття, а не за фактом втрати каналу. Для комплексного розв'язання цього замало, адже наростання рівня завад від засобів подавлення відбувається за іншими законами.

У роботах Alshaibani, Shayeа та співавторів [14, 15] мірою якості алгоритму є кількість переходів. Роботи показують, що надмірна кількість переходів сама стає джерелом втрат, а не лише наслідком поганих умов зв'язку. Такий орієнтир виправданий для мереж, де канали близькі за можливостями і кожен перехід рівноцінний. У розглянутій задачі це не так, тому сама лише кількість переходів про якість рішення говорить мало.

Ідея безшовного переходу не є новою. Концепція “always best connected” [19] і служба перемикання за стандартом IEEE 802.21 [20] спираються на взаємодію з інфраструктурою. Мережа надає терміналу відомості про сусідні мережі та бере участь у підготовці до переходу. У розглянутій задачі така можливість відсутня. Вузол ухвалює рішення автономно, спираючись на власні вимірювання. Це й пояснює, чому напрацювання в цивільних мережах переносяться на військові системи лише частково.

Наведені твердження ґрунтуються на кількох припущеннях. Вузол має технічну можливість вимірювати показники всіх своїх каналів. Показники, отримані під навантаженням і під час пробного звернення, зіставні між собою. Погіршення каналу хоча б у частині випадків залишає спостережувані ознаки. Там, де ці умови не виконуються, підстав для завчасного рішення немає, і механізм зводиться до порогового перемикання.

Прогнозування має власну ціну. Хибний прогноз дає перехід, який не був потрібен. Помилка в оцінці залишкового часу призводить до переходу, виконаного запізно. За навмисного спотворення вимірювань обидві помилки перетворюються на навмисні. Тому механізм має розпізнавати суперечності між показниками, а не вважати їх шумом.

Вимоги до механізму суперечать одна одній. Точність оцінки зростає з частотою вимірювань. Але кожне звернення до незадіяного каналу — це вихід в ефір, витрата енергії та демаскувальна ознака. Швидкість обмежена обчислювальним ресурсом бортового засобу. Тому механізм вибору каналу є компромісом між цими вимогами, а не оптимізацією за однією з них.

Робота спирається на аналіз відкритих джерел і не перевірена експериментально на конкретних зразках техніки. Це її основне обмеження. Перевірка сформульованих тверджень потребує випробувань на реальному обладнанні або в змодельованому середовищі, подібному до платформи Rettore, Loevenich, Lopes [4]. Сформульовані вимоги стосуються вузлів, що ведуть обмін даними кількома каналами в реальному часі, — безпілотних апаратів, наземних роботизованих комплексів, винесених постів спостереження та дистанційно керованих бойових модулів.

Висновки

Аналіз проблеми вибору каналу зв'язку в гетерогенних системах передавання даних виявив 4 складники, які визначають придатність будь-якого рішення щодо переходу. Усунення будь-якої з них поодиночі не розв'язує завдання.

Різномірні канали не мають спільного набору показників. Показники різних родів зв'язку є величинами з різним фізичним змістом і різними межами придатності, а спільні характеристики не можна безпосередньо зіставляти. Порівняння потребує приведення до спільної шкали.

Більш повні оперативні дані доступні для каналу, через який безпосередньо здійснюється обмін. Стан незадіяних каналів оцінюється переважно за результатами коротких пробних звернень, що потребують додаткового використання ефіру та енергетичних ресурсів і можуть створювати демаскувальні ознаки. Рішення доводиться ухвалювати за неповними та потенційно спотвореними даними, причому можливості отримання додаткових відомостей про стан каналів для автономного вузла є обмеженими.

Перемикання за фактом погіршення створює ризик запізненого переходу. Проте частина чинників погіршення розвивається поступово і залишає спостережувані ознаки ще до втрати каналу. Це дозволяє ухвалювати рішення завчасно й готувати перехід, поки попередній канал ще працює.

Завчасне рішення має власну ціну. Чим раніше воно ухвалюється, тим меншою є кількість доступних спостережень і тим вищим може бути ризик необґрунтованого переходу. Зменшити цей ризик можна, урахувавши не лише поточний стан каналу, а й прогнозуючи його подальшу поведінку.

На основі виявлених складників сформульовано 8 вимог до механізму вибору каналу, які охоплюють оцінювання, прогнозування та стійкість ухвалення рішень. За результатами проведеного аналізу визначено два пріоритетні напрями подальших досліджень. Перший — розроблення інтегральної оцінки стану каналу U_i , придатної для порівняння різнорідних альтернатив. Другий — формування профілю каналу, що поєднує оцінку його поточного стану та прогноз подальшої поведінки для підтримки рішення щодо вибору або перемикання каналу.

Подальші дослідження мають передбачати розроблення та перевірку механізму вибору каналу на основі сформульованих вимог. Оцінювання його ефективності доцільно здійснювати в змодельованому середовищі або на реальному обладнанні з урахуванням тривалості порушення інформаційного обміну, кількості необґрунтованих переходів і ресурсних витрат. Це дасть змогу визначити умови, за яких прогнозування стану каналу забезпечує переваги порівняно з перемиканням за поточними показниками.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автор заявляє, що у нього немає конкуруючих інтересів.

Використання штучного інтелекту

Автор заявляє, що під час підготовки статті використовувався штучний інтелект для редагування правопису, пошуку, перекладу та перевірки відповідності наведених тверджень першоджерелам. Науковий зміст, постановку задачі, добір джерел і всі висновки сформульовано автором самостійно. Автор несе повну відповідальність за зміст публікації.

Список використаних джерел

1. Kunertova D. Drones have boots: Learning from Russia's war in Ukraine. Contemporary Security Policy. 2023. Vol. 44, No. 4. P. 576–591. DOI: <https://doi.org/10.1080/13523260.2023.2262792>.
2. Zabrodskyi M., Watling J., Danylyuk O. V., Reynolds N. Preliminary Lessons in Conventional Warfighting from Russia's Invasion of Ukraine: February–July 2022. London : RUSI, 2022. URL: <https://static.rusi.org/359-SR-Ukraine-Preliminary-Lessons-Feb-July-2022-web-final.pdf>
3. Abels J. Private infrastructure in geopolitical conflicts: Elon Musk, Starlink, and the Russia-Ukraine war. European Journal of International Relations. 2024. Vol. 30, No. 4. P. 842–866. DOI: <https://doi.org/10.1177/13540661241260653>.
4. Rettore P. H. L., Loevenich J., Lopes R. R. F. TNT: A Tactical Network Test Platform to Evaluate Military Systems Over Ever-Changing Scenarios. IEEE Access. 2022. Vol. 10. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3208283>.
5. Про розвідку : Закон України від 17.09.2020 № 912-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/912-20> (дата звернення: 09.09.2026).
6. ДДП 6-26.22. Настанова “Зі зв’язку Збройних Сил України”. Київ, 2025.
7. ВКП 6-00(01).01. Доктрина “Зв’язок та інформаційні системи” : затв. ГК ЗС України 01.07.2020. Київ : ЦУЗ та ІС ГШ ЗСУ, 2020. 78 с.
8. Військовий стандарт 01.112.001-2006. Військовий зв’язок. Терміни та визначення.
9. Коваленко І. Г., Зарубенко А. О., Масесов М. О., Драглюк О. В. Методика оцінки ефективності системи зв’язку за стандартами НАТО з використанням геопросторової інформації. Системи і технології зв’язку, інформатизації та кібербезпеки. 2026. № 9. С. 126–137. DOI: <https://doi.org/10.58254/viti.9.2026.10.126>.
10. Носков О. О. Модель оцінювання ефективності систем передачі даних військового призначення з урахуванням вимог конфіденційності, цілісності та доступності. Системи і технології зв’язку, інформатизації та кібербезпеки. 2026. № 9. С. 187–196. DOI: <https://doi.org/10.58254/viti.9.2026.15.187>.
11. Кувшинов О. В., Пікуль Р. В. Напрями розвитку та удосконалення військових систем радіозв’язку з повітряними ретрансляторами в умовах активної радіоелектронної протидії. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2025. № 1(52). С. 69–76.
12. Obayiuwana E., Falowo O. E. Network selection in heterogeneous wireless networks using multi-criteria decision-making algorithms: a review. Wireless Networks. 2017. Vol. 23, No. 8. P. 2617–2649. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11276-016-1301-4>.
13. Lee E., Choi C., Kim P. Intelligent Handover Scheme for Drone Using Fuzzy Inference Systems. IEEE Access. 2017. Vol. 5. P. 13712–13719. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2724067>.
14. Alshaibani W. T., Shayea I., Caglar R., Din J., Daradkeh Y. I. Mobility Management of Unmanned Aerial Vehicles in Ultra-Dense Heterogeneous Networks. Sensors. 2022. Vol. 22, No. 16. Art. 6013. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22166013>.

15. Shaye A., Dushi P., Banafaa M., Rashid R. A., Ali S., Sarijari M. A., Daradkeh Y. I., Mohamad H. Handover Management for Drones in Future Mobile Networks — A Survey. *Sensors*. 2022. Vol. 22, No. 17. Art. 6424. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22176424>.
16. Каталог наземних роботизованих комплексів. Brave1 Market. URL: <https://market-brave1.delta.mil.gov.ua/nrk/> (дата звернення: 08.2026).
17. Шкварський О. В., Рибщун О. В., Корольова О. В., Островський А. О., Ярошенко О. В. Наземні роботизовані комплекси в сучасній війні: тенденції, можливості та інженерні перспективи. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. 2026. № 1(27). С. 132–139. DOI: <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.27.2026.15>.
18. Казіміров О., Власов К., Куртов А., Потіхенський А. Аналіз застосування засобів радіоелектронної боротьби збройними силами Російської Федерації у ході збройної агресії проти України. *Scientific Collection "InterConf+"*. 2024. № 44(197). С. 670–680. DOI: <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.04.2024.063>.
19. Gustafsson E., Jonsson A. Always best connected. *IEEE Wireless Communications*. 2003. Vol. 10, No. 1. P. 49–55. DOI: <https://doi.org/10.1109/MWC.2003.1182111>.
20. IEEE Std 802.21-2017. IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks — Part 21: Media Independent Services Framework. New York : IEEE, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2017.7919341>.

References

1. Abels, J. (2024). Private infrastructure in geopolitical conflicts: Elon Musk, Starlink, and the Russia-Ukraine war. *European Journal of International Relations*, 30(4), 842–866. <https://doi.org/10.1177/13540661241260653>
2. Alshaibani, W. T., Shaye A., Caglar, R., Din, J., & Daradkeh, Y. I. (2022). Mobility management of unmanned aerial vehicles in ultra-dense heterogeneous networks. *Sensors*, 22(16), Article 6013. <https://doi.org/10.3390/s22166013>
3. IEEE. (2017). *IEEE standard for local and metropolitan area networks—Part 21: Media independent services framework* (IEEE Std 802.21-2017). <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2017.7919341>
4. Kazimirov, O., Vlasov, K., Kurtov, A., & Potikhenskiy, A. (2024). Analiz zastosuvannya zasobiv radioelektronnoi borotby zbroinymy sylamy Rosiiskoi Federatsii u khodi zbroinoi ahresii proty Ukrainy [Analysis of the use of electronic warfare assets by the armed forces of the Russian Federation during the armed aggression against Ukraine]. *Scientific Collection "InterConf+",* 44(197), 670–680. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.04.2024.063>
5. Kovalenko, I. H., Zarubenko, A. O., Masesov, M. O., & Drahliuk, O. V. (2026). Metodyka otsinky efektyvnosti systemy zviazku za standartamy NATO z vykorystanniam heoprostorovoi informatsii [Methodology for assessing the effectiveness of a communication system according to NATO standards using geospatial information]. *Systemy i tekhnologii zviazku, informatyzatsii ta kiberbezpeky*, (9), 126–137. <https://doi.org/10.58254/viti.9.2026.10.126>
6. Kunertova, D. (2023). Drones have boots: Learning from Russia's war in Ukraine. *Contemporary Security Policy*, 44(4), 576–591. <https://doi.org/10.1080/13523260.2023.2262792>
7. Kuvshynov, O. V., & Pikul, R. V. (2025). Napriamy rozvytku ta udoskonalennia viiskovykh system radiozviazku z povitrianyimi retransliatoramy v umovakh aktyvnoi radioelektronnoi protyidii [Directions for the development and improvement of military radio communication systems with airborne relays under active electronic countermeasures]. *Suchasni informatsiini tekhnologii u sferi bezpeky ta oborony*, (1(52)), 69–76.
8. Lee, E., Choi, C., & Kim, P. (2017). Intelligent handover scheme for drone using fuzzy inference systems. *IEEE Access*, 5, 13712–13719. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2724067>

9. Noskov, O. O. (2026). Model otsiniuvannya efektyvnosti system peredachi danykh viiskovoho pryznachennia z urakhuvanniam vymoh konfidentsiinosti, tsilisnosti ta dostupnosti [A model for evaluating the effectiveness of military data transmission systems considering confidentiality, integrity, and availability requirements]. *Systemy i tekhnologii zviazku, informatyzatsii ta kiberbezpeky*, (9), 187–196. <https://doi.org/10.58254/viti.9.2026.15.187>
10. Obayiuwana, E., & Falowo, O. E. (2017). Network selection in heterogeneous wireless networks using multi-criteria decision-making algorithms: A review. *Wireless Networks*, 23(8), 2617–2649. <https://doi.org/10.1007/s11276-016-1301-4>
11. Rettore, P. H. L., Loevenich, J., & Lopes, R. R. F. (2022). TNT: A tactical network test platform to evaluate military systems over ever-changing scenarios. *IEEE Access*, 10. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3208283>
12. Shaya, I., Dushi, P., Banafaa, M., Rashid, R. A., Ali, S., Sarijari, M. A., Daradkeh, Y. I., & Mohamad, H. (2022). Handover management for drones in future mobile networks—A survey. *Sensors*, 22(17), Article 6424. <https://doi.org/10.3390/s22176424>
13. Shkvarskyi, O. V., Rybshchun, O. V., Korolova, O. V., Ostrovskyi, A. O., & Yaroshenko, O. V. (2026). Nazemni robotyzovani komplekxy v suchasni viini: Tendentsii, mozhlyvosti ta inzhenerni perspektyvy [Ground robotic systems in modern warfare: Trends, capabilities, and engineering prospects]. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho naukovo-doslidnoho instytutu vyprobuvan i sertyfikatsii ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky*, (1(27)), 132–139. <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.27.2026.15>
14. Viiskovyi standart 01.112.001-2006. Viiskovyi zviazok. Terminy ta vyznachennia [Military standard 01.112.001-2006. Military communications: Terms and definitions]. (2006).
15. VKP 6-00(01).01. Doktryna “Zviazok ta informatsiini systemy” [Doctrine “Communications and information systems”]. (2020). Tsentralne upravlinnia zviazku ta informatsiinykh system Heneralnoho shtabu Zbroinykh Syl Ukrainy.
16. DDP 6-26.22. Nastanova “Zi zviazku Zbroinykh Syl Ukrainy” [Guidelines on communications of the Armed Forces of Ukraine]. (2025).
17. Verkhovna Rada Ukrainy. (2020, September 17). *Pro rozvidku: Zakon Ukrainy No. 912-IX* [On intelligence: Law of Ukraine No. 912-IX]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/912-20>
18. Brave1 Market. (n.d.). *Kataloh nazemnykh robotyzovanykh kompleksiv* [Catalogue of ground robotic systems]. <https://market-brave1.delta.mil.gov.ua/nrk/>
19. Gustafsson, E., & Jonsson, A. (2003). Always best connected. *IEEE Wireless Communications*, 10(1), 49–55. <https://doi.org/10.1109/MWC.2003.1182111>
20. Zabrodskyi, M., Watling, J., Danylyuk, O. V., & Reynolds, N. (2022). *Preliminary lessons in conventional warfighting from Russia's invasion of Ukraine: February–July 2022*. Royal United Services Institute. <https://static.rusi.org/359-SR-Ukraine-Preliminary-Lessons-Feb-July-2022-web-final.pdf>



This is an open access journal and all published articles are licensed under a Creative Commons «Attribution» 4.0.