

Григорій Митрофанович Тіхонов (кандидат військових наук, с.н.с.)¹
Сергій Миколайович Шолохов (кандидат технічних наук, доцент)²
*Юрій Вікторович Гордієнко*²

¹Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

МЕТОДИКА РОЗРОБКИ СЦЕНАРІЇВ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОДАВЛЕННЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ В УМОВАХ ОСОБЛИВОГО ПЕРІОДУ

Завадозахист системи зв'язку є актуальним та важливим напрямом дослідження, методологія оцінки впливу на нього засобів радіо (РП) та електромагнітного подавлення (ЕМП), на сьогоднішній день, досить розвинута та відома. Національна телекомунікаційна мережа (НТМ), як сукупність систем і мереж зв'язку, в умовах ведення гібридної війни проти України потребує вдосконалення способів її захисту від деструктивного впливу противника, що має на озброєнні новітні засоби РП та ЕМП. Незахищена НТМ не зможе виконати основну свою функцію, а саме обіг (передавання, приймання, створення, оброблення, зберігання) та захист національних інформаційних ресурсів, забезпечення захищених електронних комунікацій, надання спектра сучасних захищених інформаційно-комунікаційних (мультисервісних) послуг в інтересах здійснення управління державою у мирний час, в умовах надзвичайного стану та в особливий період, яка є мережею (системою) подвійного призначення з використанням частини її ресурсу для надання послуг спеціального зв'язку, зокрема з кіберзахисту, іншим споживачам. Якісна розробка способів та методів забезпечення завадостійкості елементів НТМ неможлива без прогнозування можливих сценаріїв дії противника та завадової обстановки, що може скластися.

Запропоновано застосування сценарного підходу під час розробки адаптивних алгоритмів завадозахисту засобів спеціального зв'язку від активного радіо та електромагнітного подавлення противника в гібридних діях та терористичній діяльності.

Розроблено методику обґрунтування сценаріїв РП та ЕМП транспортної платформи (ТП) НТМ та визначення сценаріїв складної сигнально-завадової обстановки. Дані сценарії необхідні для подальшого синтезу адаптивних алгоритмів завадозахисту засобів транспортної платформи НТМ.

Методика дозволяє обґрунтувати склад та порядок застосування засобів РП та ЕМП противника у часі та по елементах транспортної платформи НТМ в умовах ведення гібридної війни проти України.

Зроблено висновок щодо необхідності синтезу алгоритмів завадозахисту каналів зв'язку адаптивних до різних сценаріїв сигнально-завадової обстановки, що може скластися.

Ключові слова: електромагнітнеподавлення; радіоелектроннеподавлення; сценарії радіоподавлення; завадозахист.

Вступ

Теперішній момент часу характеризується можливістю різкого загострення ситуації на Сході та Півдні України, переходом російсько-терористичних військ до широкомасштабної збройної агресії проти України або веденням масштабних терористичних дій в умовах особливого періоду.

В таких умовах першочерговими об'єктами (Об) радіоподавлення (РП) та електромагнітного подавлення (ЕМП) противника [1] можуть стати як

елементи радіосегмента транспортної платформи НТМ, що розташовані в зоні проведення операції об'єднаних сил (ООС), так і ті, що знаходяться на решті території України.

Постановка проблеми. Для системи зв'язку в умовах можливого створення противником складної сигнально-завадової обстановки (ССЗО), якісне виконання завдань за призначенням вимагає розробки та застосування у приймачах адаптивних до сценаріїв ССЗО алгоритмів завадозахисту. Це потребує автоматизованого розпізнавання станів

ССЗО за апріорним словником нечітких сигнатур для подальшої обробки корисного сигналу.

Вирішення цього завдання можливо із розвитком галузі радіоелектронної боротьби (РЕБ) та теорії завадозахисту сценарного підходу [2, 3]. Одним із завдань, що виникає при цьому, є розробка методики визначення сценаріїв РП та ЕМП (застосування новітніх засобів та способів РП та ЕМП) Російською Федерацією транспортної платформи НТМ в потенційних, реальних бойових діях та у гібридній війні на території України.

Розуміння «сценарій РП та ЕМП» не досліджене та нове для теорії радіоелектронної боротьби та завадозахищеності.

Існує безліч різних визначень понять «сценарій». Одне з них трактує сценарій як – послідовність прогнозованих подій у часі [2, 3].

Загальними характеристиками сценаріїв є: гіпотетична природа сценарію; опис альтернативних варіантів майбутнього; опис майбутнього як кінцевого результату або ж як ланцюжка подій; причинно-наслідковий зв'язок і наявність внутрішньої узгодженості; можливість використовувати сценарій як базис для дій; описова природа; достовірність; пояснювальна природа; з'єднання минулого, сьогодення і майбутнього [3, 4].

В результаті узагальнення цих характеристик введемо в якості найбільш загального визначення сценарію радіо- та електромагнітного подавлення транспортної платформи НТМ наступне: сценарій РП та ЕМП транспортної платформи НТМ – це послідовний опис альтернативних гіпотетично можливих варіантів застосування засобів РП та ЕМП в майбутніх гібридних діях, який відображає різні можливі тактичні та оперативні-тактичні ситуації їх застосування, а також який може бути вихідними даними для розробки методів та способів протидії зриву інформаційного обміну у транспортній платформі НТМ в умовах РП та ЕМП противника. Визначення сценаріїв РП та ЕМП систем зв'язку є завданням проведення сценарного дослідження. Кожне таке дослідження має свою специфіку і відрізняється від інших.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питання оптимізації розподілу засобів РП за об'єктами впливу розглянуті в [5-7]. Однак, у відомій літературі можливі сценарії та способи радіо та електромагнітного подавлення транспортної платформи НТМ мало досліджені. Постановки задачі раціонального розподілу ресурсу неоднорідних засобів радіоелектронної боротьби противника за елементами транспортної платформи НТМ для подальшої розробки методики визначення сценаріїв її РП в умовах ведення гібридних бойових та терористичних дій проведена в [6]. Методика оцінки показників якості порушення інформаційного обміну в

транспортній платформі НТМ в умовах ведення РП розроблена в [7]. У проаналізованій авторами літературі, методика визначення сценаріїв РП та ЕМП радіоканалів зв'язку транспортної платформи НТМ для синтезу адаптивних алгоритмів їх завадозахисту з урахуванням можливих сценаріїв складної сигнально-завадової обстановки не досліджена у повному обсязі.

Метою статті є розробка методики визначення сценаріїв РП та ЕМП транспортної платформи НТМ та складної сигнально-завадової обстановки для синтезу адаптивних алгоритмів завадозахисту в умовах ведення гібридних та терористичних дій на території України.

Виклад основного матеріалу дослідження

Мета статті буде досягнута на основі розвитку математичного апарату теорій вирішення багатокритеріальних задач оптимального розподілу різномірних ресурсу [8, 9], математичної статистики [10] та ідентифікації систем [11] в практичну площину застосування сценарного підходу для визначення сценаріїв РП та ЕМП транспортної платформи НТМ та ССЗО під час ведення гібридних війн та терористичних дій.

Проведені дослідження показали, що у загальному вигляді методика містить п'ять етапів, рис.1:

I – формування множини вхідних даних;

II – визначення множини гіпотетично можливих засобів деструктивного впливу противника на елементи транспортної платформи НТМ у гібридних діях;

III – оптимізацію розподілу ресурсу різномірних засобів РП та ЕМП противника, що можуть бути застосовані для визначення сценаріїв РП та ЕМП противника на транспортній платформі НТМ;

IV – визначення послідовності застосування засобів РП та ЕМП противника у часі та просторі при виконанні підрозділами Держспецзв'язку завдань за призначенням в умовах РЕБ противника при веденні гібридних дій та терористичної діяльності;

V – визначення можливих сценаріїв СЗО та масивів їх сигнатур та ознак під час застосування підрозділів Держспецзв'язку в умовах РП та ЕМП противника, прогнозування її змін у часі. Розробка математичних моделей сценаріїв складної СЗО для формування апріорних масивів сигнатур та ознак для розпізнавання сценаріїв.

Перший етап методики труднощів не викликає. На цьому етапі проводиться формування множини вхідних даних шляхом аналізу гіпотетично можливих засобів РП, ЕМП противника та загальної радіоелектронної обстановки (РЕО). При цьому в доповнення до загальноприйнятих та визначених заходів необхідно:

проаналізувати порядок комплексного застосування засобів радіозв'язку транспортної платформи НТМ (типи супутникових засобів передачі інформації, радіорелейних та УКХ засобів зв'язку, частотно-часові параметри їх сигналів та швидкості передачі даних у лініях, утворених ними, взаємозамінність, види модуляції (маніпуляції) тощо;

проаналізувати можливості частин (підрозділів) радіоелектронної розвідки та РЕБ російсько-терористичних військ;

окремої оцінки вимагають можливості засобів ЕМП противника та їх засоби доставки до об'єктів ураження під час гібридних дій та терористичної діяльності на території України.

На основі результатів оцінки радіоелектронної обстановки формується множина вихідних даних для визначення сценаріїв деструктивного радіоелектронного впливу на елементи транспортної платформи НТМ.

На другому етапі методики обґрунтовуються гіпотетично придатні для виконання завдань з РП, ЕМП засоби деструктивного впливу, що є (або можуть бути в перспективі) на озброєнні російсько-терористичних військ.

На третьому етапі методики проводиться оптимізація розподілу ресурсу існуючих та гіпотетично можливих засобів РП та ЕМП противника за об'єктами впливу транспортної мережі НТМ для формування основи визначення сценаріїв деструктивного впливу.

На четвертому етапі методики визначаються просторові, часові показники та порядок застосування засобів РП та ЕМП по елементах транспортної мережі НТМ. Це потребує детального врахування завдань, тактичних та оперативних показників ведення гібридних дій та терористичної діяльності

У розробленій методиці наукового вдосконалення набули:

постановка зворотної задачі векторної оптимізації розподілу ресурсу неоднорідних засобів РП та ЕМП за елементами транспортної мережі НТМ [6];

пониження мірності векторної задачі оптимізації та перетворення її до виду однокритеріальної задачі розподілу різнорідних засобів РП та ЕМП по елементах транспортної мережі НТМ;

порядок вирішення зворотної однокритеріальної задачі раціонального розподілу різнорідних засобів РП з врахуванням обмежень на ефективність зриву інформаційного обміну у транспортній мережі НТМ [6];

порядок оцінки ефективності порушення інформаційного обміну у транспортній мережі НТМ та обґрунтування обмежень до неї [7].

Не гублячи загальності викладення,

конкретизуємо порядок практичного застосування отриманих результатів при визначенні сценаріїв РП та ЕМП транспортної мережі НТМ.

Нехай, за результатами аналізу (РЕО) визначено що противник для вирішення завдань з РП та ЕМП транспортної мережі НТМ може гіпотетично застосувати засоби РП та ЕМП k типів, $k = 1, 2, \dots, v$.

Противник під час підготовки та ведення гібридних дій (терористичної діяльності) ставить завдання зрвати обмін інформацією каналами державного управління у певному територіальному районі України, що залежить від масштабів гібридних дій. При цьому, в залежності від масштабів гібридних дій, противник вирішує j часткових завдань Z_1, Z_2, \dots, Z_m , $j = 1, 2, \dots, m$, рис.2. Зокрема, під час ведення гібридних бойових дій завданнями можуть полягати в наступному:

Наприклад, здійснення за єдиним замислом та планом РП та ЕМП засобів транспортної мережі НТМ в наступних просторових масштабах (рис.2):

($j = 1$) – до 100 км від лінії розмежування;

($j = 2$) – до 250 км від лінії розмежування;

($j = 3$) – до 500 км від лінії розмежування;

($j = 4$) – на всю глибину території України.

При цьому вважається, що завдання з подавлення інших видів зв'язку в інтересах державного управління повністю виконані окремими діями.

В рамках вирішення кожного j -го завдання за результатами попередньої РР противником викрито n_j типів функціонально незалежних елементів транспортної мережі НТМ – об'єктів (Об) РП та ЕМП. Q_{jz} – загальна кількість об'єктів z -го типу (терміналів ТП), $z = 1, 2, \dots, n_j$, рис. 2.

Кожен об'єкт організовує одну радіолінію ТП, яка за ТТХ терміналу є багатоканальною і, в залежності від ланки управління, включає в себе від одиниць до десятків радіоканалів.

На рис. 2 умовно схематично показані радіолінії транспортної мережі НТМ, які організовані об'єктами РП та ЕМП на глибину завдання Z_j , $j = 1, 2, 3$ та 4 відповідно.

За результатами оцінки РЕО визначена загальна кількість радіоканалів Q_j , яка організована на всіх об'єктах z типів, що можуть бути об'єктами РП та ЕМП противника під час

виконання j -го завдання. $Q_j = \sum_{z=1}^{n_j} Q_{jz} \cdot A_{jz}$, де

A_{jz} – кількість радіоканалів, організованих однією радіолінією об'єкта z -го типу під час виконання противником j -го завдання.

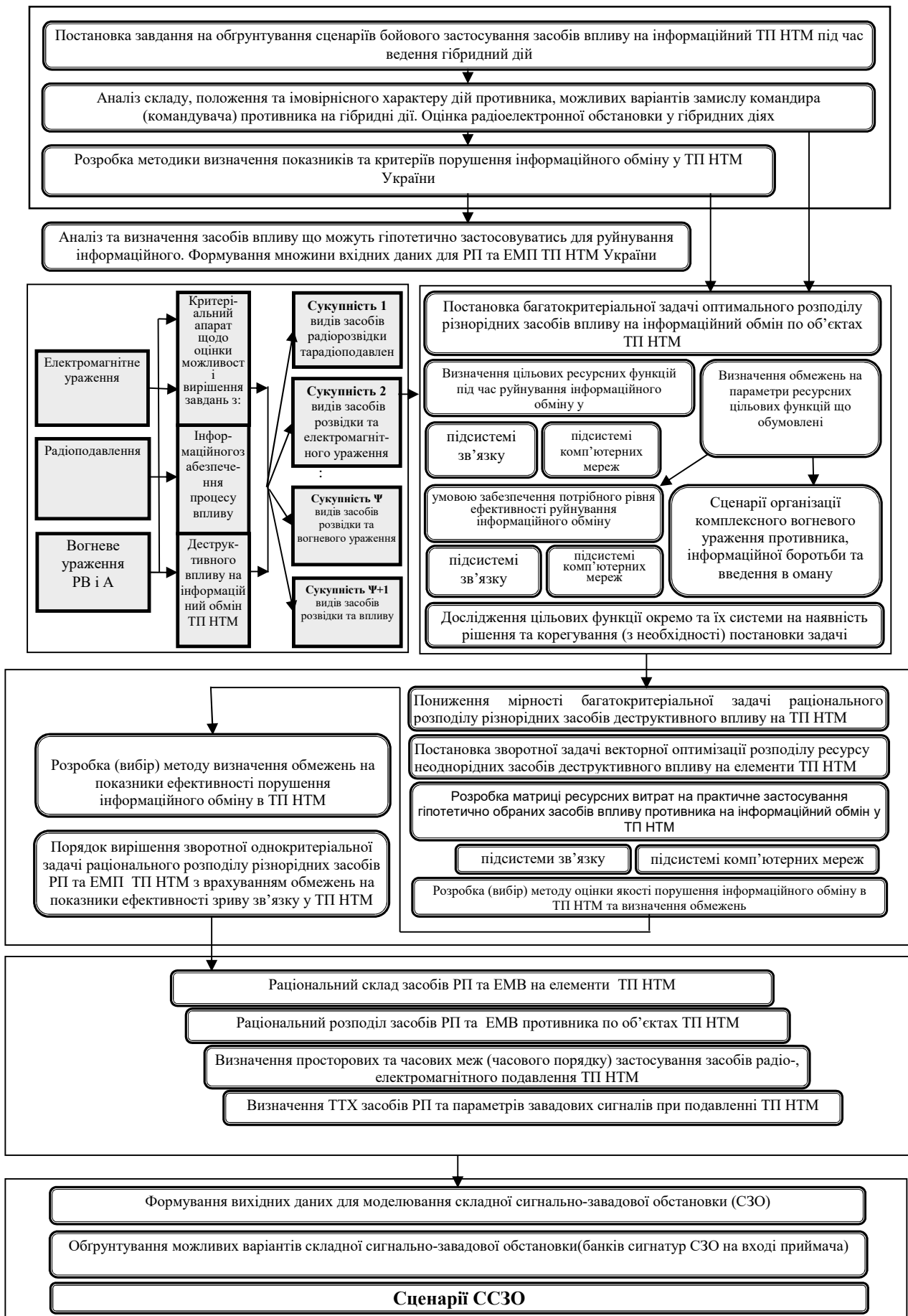


Рис. 1. Структура методики визначення сценаріїв РП, ЕМП ТП НТМ та складної сигнально-заводової обстановки

Тоді, критерій для оцінки ефективності зриву інформаційного обміну в ТП НТМ шляхом РП та ЕМП противником її елементів при виконанні часткового завдання Z_j має вигляд

$$Q_j^n \geq Q_j^{kp}, \quad (1)$$

де Q_j^{kp} – критична кількість подавлених каналів транспортної мережі НТМ, за якої досягається потрібний рівень порушення інформаційного обміну у транспортній мережі НТМ [7]

$$Q_j^{kp} = Q_j^{\max} - \frac{\left(\frac{1}{Q_j^{\max}!} \cdot P_0 \cdot \left(\frac{\lambda_j}{v_j} \right)^{Q_j^{\max}} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\lambda_j}{Q_j^{\max} \cdot v_j}} \right)}{M\{t_{затрj}^{kp}\}} \cdot \lambda_j \quad (2)$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{i=1}^{Q_j^{\max}} \frac{1}{i!} \cdot \left(\frac{\lambda_j}{v_j} \right)^i + \frac{1}{Q_j^{\max}!} \cdot \left(\frac{\lambda_j}{v_j} \right)^{Q_j^{\max}} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\lambda_j}{Q_j^{\max} \cdot v_j}}} \quad (3)$$

де $Q_j^{\max}, \lambda_j, v_j$ – кількість каналів транспортної мережі НТМ, що розгорнуті, інтенсивність потоку повідомлень та середній час тривалості повідомлення у каналах транспортної мережі НТМ під час вирішення противником j -го завдання;

$M\{t_{затрj}^{kp}\}$ – математичне сподівання часу затримки передачі повідомлення в каналі транспортної мережі НТМ під час вирішення j -го завдання.

Для вирішення завдань Z_1, Z_2, \dots, Z_m в процесі ведення гібридних дій (терористичної діяльності) противник має сформувавши оптимальний набір $S_{опт} = \{Q_{jzk}^n\}$ каналів об'єктів транспортної мережі НТМ z -го типу, що подавляються відповідними засобами РП та ЕМП k -го типу під час вирішення j -го завдання, який забезпечує мінімізацію економічних витрат реалізації способу бойового застосування засобів РП та ЕМП транспортної мережі НТМ під час ведення гібридних дій (терористичної діяльності). При цьому необхідне одночасне виконання вимог до ефективності процесу РП та ЕМП (наприклад, оптимізація за критерієм «вартість – ефективність подавлення»). Критерій «вартість – ефективність подавлення» не є єдиним можливим підходом та обраний для прикладу, як найбільш простий для розуміння порядку застосування методики, рис.1. На практиці необхідно визначити декілька можливих сценарії РП та ЕМП на основі застосування різних цільових функцій. Зокрема,

доцільно застосовувати критерії «складність виконання бойового завдання – ефективність подавлення», або «вартість – складність виконання бойового завдання – ефективність подавлення».

Можливо поставити та вирішити задачу оптимального розподілу як багатокритеріальну та при визначенні сценаріїв обирати рівно ефективні варіанти призначення засобів РП та ЕМП з області Парето. Для цього в методиці, рис.1, додатково необхідно розробити:

схему компромісів особи що приймає рішення (ОПР) під час вирішення багатокритеріальної задачі;

метод визначення не гірших варіантів розподілу та відповідної номенклатури складу засобів РП та ЕМВ (визначення області Парето);

матрицю ресурсних витрат на практичне застосування гіпотетично обраних засобів впливу противника на інформаційний обмін у транспортній мережі НТМ тощо.

Однак формалізація постановки задачі багатокритеріальної оптимізації із застосуванням цільових функцій «вартість подавлення – складність виконання бойового завдання – ефективність подавлення» виходить за рамки роботи та буде вирішена авторами в окремій публікації.

Не гублячи загальної мети, в процесі подальшого викладу порядку практичного застосування методики, рис.1, етап 3, в якості прикладу будемо розглядати однокритеріальну задачу за критерієм «вартість подавлення» при переведенні показника «ефективності подавлення» в режим обмежень. На разі врахуємо, що перехід від багатьох цільових функцій до однокритеріального варіанту можливий шляхом застосування методу переведення деяких з них у режим обмежень. Наприклад, ефективність зриву інформаційного обміну у ТП НТМ доцільно розглядати як обмеження мінімізуючи цільову функцію вартості.

Математична постановка задачі оптимального розподілу неоднорідних засобів РП та ЕМП противника за елементами транспортної мережі НТМ в гібридних діях (терористичній діяльності) має вигляд

$$S_{опт}(Q_{jzk}^n) = \min \left\{ \sum_{j=1}^m \sum_{z=1}^{n_j} \sum_{k=1}^v C_{jzk} \cdot Q_{jzk}^n \right\} \quad (4)$$

у разі обмежень на параметри цільової функції (4)

$$\sum_{z=1}^{n_j} \sum_{k=1}^v A_{jz} \cdot Q_{jzk}^n \geq Q_j^{kp}, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad z = 1, 2, \dots, n_j \quad (5)$$

$$Q_{jzk}^n = 1, 2, \dots, Q_{jzk} \quad (6)$$

$$C_{jzk} \geq 0, \quad k = 1, 2, \dots, v. \quad (7)$$

де A_{jz} – кількість радіоканалів, організованих

однією радіолінією об'єкта z -го типу j -ї ланки управління.

Об'єкти РП та ЕМП транспортної мережі НТМ складаються з сукупності приймальних або передаючих (при здійсненні противником ЕМП) засобів СпЗ, РрЗ та УКХ радіозв'язку.

Кожний із засобів охарактеризований ймовірністю $P_{yp,jzk}$ ураження (подавлення) його каналів, (перехід від ліній зв'язку до окремого каналу обумовлений врахування багатоканальності ліній зв'язку) яка є функцією характеристик радіовпливу на Об РП z -го типу відповідним k -м типом засобів РП [4-6]. Визначена кількість каналів Q_{jz} та максимальна кількість каналів Q_{jz}^{max} засобів ТП НТМ, що розгорнуті на окремому та сукупності однотипних об'єктів z -го типу під час вирішення j -го завдання відповідно.

За результатами воєнно-економічного аналізу необхідно сформувати матрицю $\|C_{jzk}\|$ економічних витрат РП та ЕМП на кожен канал транспортної мережі НТМ об'єкту z -го типу засобами РП k -го типу, таблиця 1.

Елементи матриці формуються із врахуванням захисних властивостей кожного типу Об РП, ЕМП та живучості засобів РП кожного типу, де –

$$C_{jzk} = \frac{C_k \cdot M_{jzk}}{Q_{jz} \cdot G_{jzk}^d}; C_k \cdot M_{jzk} (P_{yp,jzk}) - \text{відповідно}$$

вартість застосування засобу РП та ЕМП k -го типу противника та їх кількість, яка необхідна для ураження (подавлення) Об РП z -го типу засобом РП k -го типу під час вирішення j -го завдання;

G_{jzk}^d – коефіцієнт, що характеризує ступінь виконання завдання з доставки засобів РП, ЕМП k -го типу до Об РП z -го типу під час вирішення j -го завдання ($0 < G_{jzk}^d \leq 1$). Ця процедура труднощів не викликає.

Аналіз (1-7) дозволяє зробити висновок, що на третьому етапі методики задача розподілу засобів РП и ЕМП по Об при розробці можливих сценаріїв РП та ЕМП противником транспортної мережі НТМ за критерієм «вартість подавлення – ефективність подавлення» може бути зведена до вирішення багатомірної двоїної цілочисельної зворотної задачі лінійного програмування.

Метод мінімізації (4) суттєво визначається її мірністю та характером сукупності обмежень типу (5–7). Підходи до вирішення зворотних двоїнок задач досліджені в [7, 8]. Однак результати отримані або в умовах розподілу однорідного ресурсу, або невисокої індексності (не більш 2) цільової функції та їх використання для отримання однозначного рішення задачі (4–7) утруднено.

Іншим підходом до зняття виникаючих протиріч на третьому етапі методики є багаторівневий процес вирішення (4-7) з пониженням мірності цільової функції (4) задачі за рахунок перетворення матриці економічних витрат $\|C_{jzk}\|$. В результаті чого, формується матриця економічних витрат, яка приводиться до матриці-строки C_z , таб.2, шляхом згортання за правилом, згідно з яким, з елементів кожного z -го стовпця матриці $\|C_{jzk}\|$ обирається мінімальний та його значення присвоюється відповідному елементу матриці-строки C_z^k зі збереженням індексу z , де верхній індекс k є типом засобу РЕП, що чисельно дорівнює номеру строки в якій знаходиться мінімальний для z -го стовпця елемент матриці $\|C_{jzk}\|$.

В результаті запропонованого підходу, задача (4-7) спрощується до вигляду

$$S_{opt}(Q_z^n) = \min \left\{ \sum_{z=1}^{n_j} C_z^k \cdot Q_z^n \right\}, \quad (8)$$

у разі обмежень:

$$\sum_{z=1}^{n_j} Q_z \geq Q_j^{kp}, j = 1, 2, \dots, m, z = 1, 2, \dots, n_j \quad (9)$$

$$Q_{jz} = 1, 2, \dots, Q_{jz}^{max} \quad (10)$$

$$C_{jz}^k \geq 0, k = 1, 2, \dots, v. \quad (11)$$

Фізична трактовка (8)...(11) може бути наступною [5]. До кожного завдання $Z_1, Z_2, \dots, Z_m, j = 1, 2, \dots, m$, необхідно надати (створити під часгібридних дій) різномірний ресурс каналів транспортної мережі НТМ що подавлені або уражені n_j типів, у разі обмежень зверху на їх сукупну кількість Q_{jz}^{max} за типами об'єктів та знизу на сукупну кількість подавлених каналів в межах кожного завдання, що вирішується (9).

Для вирішення задачі виду (8-11), виникає необхідність пошуку методу розв'язання. Проведений аналіз меж застосування відомого методичного апарату[5, 6, 8, 9] дозволили побудувати алгоритм оптимізації (8-11) на основі методу нормованих функцій, який детально розроблений авторами в [6].

В якості прикладу застосуємо підхід (1-11), рис.1,2 та результати табл.1, 2 для виконання етапу III методики при розробці сценаріїв РП та ЕМП транспортної мережі НТМ під час зриву державного управління в гібридних діях (терористичній діяльності) на глибину до 300 км.

Приклад результатів формування матриці $\|C_{jzk}\|$ економічних витрат РП та ЕМП на кожен канал ТП

НТМ об'єкту z -го типу засобами подавлення k -го типу

Об'єкти РП та ЕМП ТП НТМ			Номер завдання (в залежності від просторових меж виконання завдань противником) з подавлення елементів ТП НТМ, j та номер типового Об РП та ЕМП (від 1 до 8)							
			$j = 1$			$j = 2$				$j = 3$
			Танк «Либідь К-2РБ»	БТР «Либідь К-2РБ»	Автомобіль «Либідь К-2РБ», «Харріс»	Станція РРЛ (засоби Р-414МУ, СРШ-5000)	супутникового, тропосферного зв'язку	Підрозділ зв'язку (ССЗ, СМЗ, КШМ)	Польовий вузол зв'язку (Дон-14)	Станіонарний вузол зв'язку
Тип засобу РП та ЕМП	Тип засобу РП та ЕМП	Спосіб доставки	1	2	3	4	5	6	7	8
ЕМП	1	БПЛА	300	300	300	700	700	2000	10000	100000
	2	АБП	3230	3230	3230	–	–	–	–	–
	3	АБ	30000	30000	30000	30000	50000	50000	50000	100000
	4	ДРГ	1100	1200	1200	1500	2200	2500	3000	10000
РП – БПЛА - ПЗ	5	БПЛА	200	200	300	500	1000	1000	5000	5000
РП – 377 ЛА Лорандит» УКХ: 30-300 МГц	6	НВП	771	771	771	771	–	–	–	–
РП - «Репеллент-1» (200-6000 МГц)	7	НВП	1748	1748	1748	1748	–	–	–	–
РП - Р-330Ж «Житель» GSM-900/1800	8	НВП	1748	1748	1748	1748	–	–	–	–
РП - «Борисоглебск-2» КХ (1,5-30 МГц); УКХ (30-100 МГц)	9	НВП	3178	3178	3178	3178	3178	–	–	–
РП - Р-934У УКХ (30-300 МГц); GSM-900/1800	10	НВП	1748	1748	1748	–	–	–	–	–
РП - «ТОРН» КХ (3-30МГц); УКХ (до 3000 МГц);	11	НВП	1748	1748	1748	–	–	–	–	–
РП - РБ-109А «Былина» Супутниковий, мобільний, РРЛ, транкінговий зв'язок	12	НВП	8770	8770	8770	8770	8770	8770	8770	8770
РП - ЗПЗ - ДРГ	13	ДРГ	1500	1500	1500	2000	2000	3000	4000	5000

Примітка. Умовні позначення: БПЛА ПЗ – безпілотний літальний апарат постановщик завад; АБП – артилерійський боєприпас; АБ – авіаційна бомба; НВП – направлений випромінюючий пристрій; ДРГ – диверсійна розвідувальна група, ЗПЗ – передавач завад, постановщик завад, що розміщується недалеко від об'єкту впливу.

Нехай, при цьому необхідно вирішити три часткових завдання – зірвати інформаційний обмін у мережах державного управління відповідно на глибину до 20 км ($j=1$), від 20 до 100 км ($j=2$) та від 100 до 300 км ($j=3$), табл.3.

За результатами ведення радіоелектронної, космічної, агентурної розвідки противником визначені у складі транспортної мережі НТМ типи об'єктів РП та ЕМП ($z=8$), табл.1, 2. В таблиці 3 наведена загальна кількість ліній зв'язку розгорнутих на всіх об'єктах кожного z -го типу.

Таблиця 2

Приклад результатів приведення матриці економічних витрат $\|C_{jzk}\|$ до матриці-строки C_z

z	Номер типового Об РП та ЕМП (див. табл.1)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
k	3	3	3	6	6	4	4	2
C_z^k	200	200	300	500	500	500	1000	1000

Таблиця 3

Формування матриці загальної кількості ліній зв'язку розгорнутих на всіх об'єктах кожного Z-го типу.

Номер часткового завдання	Типи об'єктів РП та ЕМП							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	10	10	20	-	-	-	-	-
2	-	-	-	20	10	10	15	-
3	-	-	-	-	-	-	-	35

Таблиця 4

Необхідна кількість каналів ТП НТМ (Q_j^{kp}), що подавлені (ураженні) при якій забезпечується зрив інформаційного обміну у ТП НТМ при вирішенні кожного часткового завдання

Номер завдання (в залежності від просторових меж виконання завдань противником) з подавлення елементів ТП НТМ, j	Q_j^{kp}
J=1	$Q_1^{kp} = 12$
J=2	$Q_j^{kp} = 9$
J=3	$Q_j^{kp} = 19$

Для РП та ЕМП противником гіпотетично може бути сформована сукупність із k = 13 типів засобів РП та ЕМП, табл.1.

В матриці-стовпці Q наведена, визначена на основі методики (2-3), необхідна кількість каналів транспортної мережі НТМ (Q_j^{kp}), що подавлені (ураженні), при якій забезпечується зрив інформаційного обміну у транспортній мережі НТМ при вирішенні кожного часткового завдання

відповідно. Результати оптимального розподілу кількості каналів транспортної мережі НТМ об'єктів z типів, k типів засобів РП та ЕМП по типовим Об для зриву інформаційного обміну у транспортній мережі НТМ у проміжок часу 4 години наведені в табл. 5 W (Q_z^n). При цьому, мінімальне значення цільової функції (8) за обмежень (9-11) Sort дорівнює $1,17 \cdot 10^5$, дол. США.

Таблиця 5

Результати оптимального розподілу кількості каналів ТП НТМ об'єктів z типів, k типів засобів РП та ЕМП по типовим Об для зриву інформаційного обміну у ТП НТМ у проміжок часу 4 години

Номер завдання (в залежності від просторових меж виконання завдань противником) з подавлення елементів ТП НТМ, J та номер типового Об РП та ЕМП (від 1 до 8)							
j = 1			j = 2				j = 3
Танк (засіб «Либіль К-2РБ»)	БТР (засіб «Либіль К-2РБ»)	Автомобіль (засіб «Либіль К-2РБ», «Харрієс»)	Станція РРЛ (засоби Р-414МУ, СРШ-5000)	Станція супутникового о, тропосферного зв'язку (Р-423)	Підрозділ зв'язку (ССЗ, СМЗ, КШМ)	Польовий вузол зв'язку (Дон-14)	Стационарний вузол зв'язку
2	1	9	2	3	4	3	19
Тип засобу РП та ЕМП що може бути застосований для завдання з порушення інформаційного обміну ТП НТМ (див. табл.1) та кількість (наведена у дужках)							
5 (2)	5 (2); 13(1)	5 (2); 3(2)	5 (2); 13(2)	12 (1); 5 (2)	5(3); 12 (1)	5 (4); 12 (2);	5(5); 12(2); 13 (2)

Результати таблиця 5 дозволяють визначити сценарій РП та ЕМП транспортної мережі НТМ за цільовою функцією пониженої мірності (8) при виконанні противником завдань у відповідних територіальних межах за умови гарантованого зриву інформаційного обміну. При цьому економічні витрати противника – мінімальні.

Для визначення сценарію необхідно щоб ураження (подавлення) відповідних об'єктів РП було узгоджено за просторовими та часовими вимогами їх виконання.

Інший варіант сценарію може бути отриманий варіаціями множини обмежень, оперативнотактичних умов або зміною сутності та виду цільової функції.

На п'ятому етапі методики за результатами розробки сценарію РП та ЕМП транспортної мережі НТМ формуються данні щодо видів задових сигналів противника, їх кількості, параметрів та порядку випромінювання, дій станцій зв'язку тощо. Це дає змогу статистично описати можливі варіанти ССЗО за якої гіпотетично буде здійснюватися застосування підрозділів Держспецзв'язку за призначенням в умовах реалізації противником визначених сценаріїв РП та ЕМП транспортної мережі НТМ. Для цього шляхом математичного та імітаційного моделювання формуються вибірки можливих значень амплітуди суперпозиції спектрів корисних сигналів, адитивних шумів та завад різних типів (структурних, подібних та гармонічних вузькосмугових завад), що можуть випромінюватись обраними за результатами етапу III засобами РП противника. Моделюються реальні дистанції зв'язку, тактико-технічні характеристики засобів РП противника та своїх засобів зв'язку, реальні види задових сигналів.

За результатами моделювання формуються вибірки розрахованих амплітуд суміші корисного сигналу та завад на фоні власних шумів приймача для різних сценаріїв РП та ЕМП транспортної мережі НТМ противником. Далі будуються гістограми вибіркового розподілу сумарної амплітуди спектру на вході приймача та вирішуються задачі статистичної перевірки гіпотез, що є підставою для вибору типу закону розподілу амплітуди спектру суміші «сигнал – гаусів шум – завада». Таким чином, створюється апріорний словник сигнатур або паттернів станів випадкових процесів на вході приймача.

Задача з перевірки гіпотези про закон розподілу вибірки випадкової величини може бути вирішена із застосуванням відомих критеріїв, наприклад Пірсона (критерій χ^2) і Колмогорова [10].

У разі застосування критерію χ^2 дискретизується функція, що описує зміни

амплітуди спектру суміші сигналу, завади та шуму на вході приймача. Далі формується вибірка обсягу n , яка розбивається на k інтервалів (від 8 до 20). Кількість елементів вибірки, що потрапили в i -інтервал, позначимо через n_i . Побудована за цими даними гістограма вибіркового розподілу амплітуди сигналу служить підставою для вибору типу закону розподілу. Параметри цього розподілу можуть бути знайдені або з теоретичних міркувань, або знаходженням їх оцінок за вибіркою. На підставі прийнятого закону розподілу обчислюються ймовірності p_i попадання випадкової величини в i -інтервал. Величина, що характеризує відхилення вибіркового розподілу від передбачуваного, визначається формулою [10]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} \quad (12)$$

де k – кількість інтервалів; n – обсяг вибірки.

Сума (12) має наближено χ^2 -розподілення з $f = (k - 1 - c)$ ступенями вільності, де c – кількість параметрів гіпотетичного закону розподілу, що визначаються за вибіркою. Для нормального розподілу $c = 2$, якщо \bar{x} , s визначаються за даною вибіркою.

Гіпотеза про прийнятий тип закону розподілу приймається на обраному рівні значущості α , якщо $\chi^2 \leq \chi_{1-\alpha}^2$, де $\chi_{1-\alpha}^2$ квантиль розподілу Пірсона для даного α і кількості ступенів вільності f . В іншому випадку робиться висновок про те, що гіпотеза не узгоджується з вибіркою розподілом.

При використанні критерію χ^2 бажано, щоб обсяг вибірки був достатньо великим: $n \geq 50 \div 150$, а кількість елементів $n_j \geq 5 \div 8$.

При підрахунку теоретичних ймовірностей p_i вважається, що крайній лівий інтервал простягається до $-\infty$; крайній правий до $+\infty$.

Для застосування критерію згоди Колмогорова необхідно визначити найбільше абсолютне відхилення вибіркової функції розподілу $F_n(x)$ від генеральної $F(x)$ [10]:

$$D = \max |F_n(x) - F(x)| \quad (13)$$

потім обчислити величину $\lambda = D\sqrt{n}$, $\lambda_{1-\alpha}$ – квантиль розподілу Колмогорова.

Якщо $\lambda > \lambda_{1-\alpha}$, то гіпотеза про збіг теоретичного закону розподілу $F(x)$ з вибіркою $F_n(x)$ не відхиляється. При $\lambda > \lambda_{1-\alpha}$ гіпотеза відхиляється (або вважається сумнівною). Рівень значущості при застосуванні критерію

Колмогорова обирають зазвичай в діапазоні (0,2 ... 0,3).

У разі вибірок невеликого обсягу ($n < 50$) для перевірки гіпотези про закон розподілу можна використовувати прості критерії, засновані на порівнянні генеральних параметрів розподілу і їх оцінок, отриманих за вибіркою. В якості оцінок параметрів найзручніше обрати моменти.

Для опису різних моделей завад з можливістю оцінки їх майбутньої поведінки можливо застосувати ймовірнісні конструкції та підхід (9-12). Негаусівські завади можливо описати кінцевою послідовністю кумулянтів. Однак на практиці для поточного моменту t доцільно мати представлення про поведінку завади в момент $t + k$, $k \geq 1$. Для вирішення цього завдання потрібно знати мати умовну сумісну щільність ймовірності значень амплітуди суміші сигналу, шуму та завад ($t + k$), $k \geq 1$ при заданому наборі попередніх значень амплітуди. Однак у більшості практичних випадків реалізація цієї ідеї потребує великої кількості обчислень. В такій ситуації, розвиваючи підхід [10] у галузь моделювання завадової обстановки можливо формалізувати заваду співвідношенням [11]

$$v(t) = \sum_{k=0}^{\infty} h(k) \cdot e(t - k), \quad (14)$$

де $e(t)$ – послідовність взаємно незалежних однаково розподілених випадкових величин з деякою функцією щільності ймовірності. Такий підхід дозволяє в подальшому здійснювати визначення сценаріїв та формування статистичних гіпотез про майбутню поведінку завади. Новизна

такого підходу полягає у можливості апроксимації складних по формі завад шляхом визначення (підбору) різних функцій щільності ймовірності для послідовності $e(t)$ може моделювати (імітувати по формі) завади практично любого характеру складності. Цей практичний висновок відіграє важливу роль у створенні при подальших дослідженнях словника сигнатур ознак станів випадкових процесів на вході приймача у складній СЗО, дозволяє проводити дослідження з розпізнавання стану СЗО за сформованими у процесі навчання патернами.

Висновки й перспективи подальших досліджень

Запропонований підхід дозволяє вирішувати завдання з визначення сценаріїв:

РП та ЕМП транспортної мережі НТМ на основі розподілу неоднорідних засобів РП та ЕМП противника за елементами транспортної мережі НТМ у гібридних діях (терористичній діяльності);

СЗО що може скластися у інформаційному конфлікті засобів спеціального зв'язку та РЕБ противника.

В рамках подальших досліджень доцільно створити методику розробки апріорного словника сигнатур та паттернів станів випадкових процесів на вході приймального засобу спецзв'язку. Це надасть можливості в подальшому синтезувати автоматизовані непараметричні статистичні та нейромережеві алгоритми розпізнавання станів СЗО. Розроблені алгоритми розпізнавання станів СЗО дозволяють в подальшому розробити адаптивні до стану СЗО алгоритми в завадозахисту.

Література

1. Шолохов С. М., Тишук С.О., Завацький О. Б., Лучук Е. Електромагнітна зброя: сутність, принципи застосування та перспективи використання в операціях (бойових діях). *Вісник воєнної розвідки*. 2005. № 1(10). С. 39–43. 2. VanNottenPh. Scenario development: a typology of approaches. *Think Scenario. Rethink Education*. 2006. Р. 69–84. 3. Wack P. Scenarios: Shooting the Rapids. *Harvard Business Review*. 1985. № 5. Р. 72–29. 4. VanNottenPh. Writing on the wall: scenario development in times of discontinuity. *Voca Raton : MU*, 2005. 209 р. 5. Шолохов С. М., Завацький О. Б., Лучук Е. В., Онисько А. І., Тіхонов Г. М. Методика обґрунтування оптимальних способів радіоелектронного подавлення новітніх АСУ противника частинами, що оснащені зброєю РЕБ нового покоління. *Труди академії*. 2006. № 66. С. 112–119. 6. Шолохов С. М., Гордієнко Ю. В. Постановка зворотної задачі раціонального розподілу ресурсу неоднорідних засобів радіоелектронної боротьби противника по елементах транспортної платформи національної

телекомунікаційної мережі для визначенні сценаріїв її радіоелектронного подавлення. *Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації*. 2020. № 1(7). С. 34–40. 7. Шолохов С. М., Гордієнко Ю. В. Оцінка ефективності радіоелектронного та програмно-комп'ютерного подавлення телекомунікаційних систем урядового зв'язку при обґрунтуванні перспективних способів їх радіоелектронного захисту в умовах ведення гібридної війни. *Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації*. 2019. № 2(6). С. 59–65. 8. Берзин Е. А. Оптимальное распределение ресурсов и элементы синтеза систем. / под ред. Е. В.Золотова. Москва : Советское радио, 1974. 303 с. 9. Гурин Л. С., Дымарский Я. С., Меркулов А. Д. Задачи и методы оптимального распределения ресурсов. Москва: Советское радио, 1968. 463 с. 10. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Москва : Высшая школа, 1972. 368 с. 11. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя / пер. с англ. / под.ред. Я. З. Цыпкина. М. :Наука, 1991. 432 с.

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ СЦЕНАРИЕВ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДАВЛЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ ОСОБОГО ПЕРИОДА

Тихонов Григорий Митрофанович (кандидат военных наук, с.н.с.)¹

Шолохов Сергей Николаевич (кандидат технических наук, доцент)²

Гордиенко Юрий Викторович²

¹*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*

²*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина*

Помехозащищенность системы связи является актуальным и важным направлением исследования, методология оценки воздействия на него средств радио (РП) и электромагнитного подавления (ЭМП), на сегодняшний день, достаточно развита и известна. Национальная телекоммуникационная сеть (НТС), как совокупность систем и сетей связи, в условиях ведения гибридной войны против Украины нуждается в совершенствовании способов ее защиты от деструктивного влияния противника, который имеет на вооружении новейшие средства РП и ЭМП. Незащищенная НТС не сможет выполнить основную свою функцию, а именно обращение (передача, прием, создание, обработка, хранение) и защита национальных информационных ресурсов, обеспечение защищенных электронных коммуникаций, предоставление спектра современных защищенных информационно-коммуникационных (мультисервисных) услуг в интересах осуществления управления государством в мирное время, в условиях чрезвычайного положения и в особый период, и которая является сетью (системой) двойного назначения с использованием части ее ресурса для предоставления услуг, в частности с киберзащиты, другим потребителям. Качественная разработка способов и методов обеспечения помехоустойчивости элементов НТС невозможна без прогнозирования возможных сценариев действий противника и помеховой обстановки, которая может сложиться.

Предложено применение сценарного подхода при разработке адаптивных алгоритмов помехозащищенности средств специальной связи от активного радио и электромагнитного подавления противника в гибридных действиях и террористической деятельности.

Разработана методика обоснования сценариев РП и ЭМП транспортной платформы (ТП) НТС и определения сценариев сложной сигнально-помеховой обстановки. Данные сценарии необходимы для дальнейшего синтеза адаптивных алгоритмов помехозащищенности средств ТП НТС.

Методика позволяет обосновать состав и порядок применения средств РП и ЭМП противника во времени и по элементам ТП НТС в условиях ведения гибридных боевых действий против Украины.

Сделан вывод о необходимости синтеза алгоритмов помехозащищенности каналов связи адаптивных к разным сценариям сигнально-помеховой обстановки, которая может сложиться.

Ключевые слова: электромагнитное подавление; радиоэлектронное подавление; сценарии радиоподавление; помехозащищенность.

METHODOLOGY OF DEVELOPING SCENARIOS OF RADIOELECTRONIC AND ELECTROMAGNETIC SUPPRESSION OF NATIONAL TELECOMMUNICATIONS NETWORK IN THE CONDITIONS OF THE SPECIAL PERIOD

Tikhonov Grigoriï (Candidate of Military Sciences, Senior Research Fellow)¹

Sholokhov Serhii (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)²

Hordiienko Yurii²

¹*National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiyi, Kyiv, Ukraine*

²*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kiev, Ukraine*

Annotation. Interference protection of the communication system is a relevant and important researching area, impact assessment methodology of radio (RS) and electromagnetic suppression (EMS) is rather developed and known for today. The National Telecommunication Network (NTN), as a set of communication systems and networks, in the context of a hybrid war against Ukraine requires protection improvement from the destructive influence of the enemy, which has the latest RP and EMF. Unsecured NTN will not be able to perform its main function, namely the circulation (transmission, reception, creation, processing and storage) and protection of national information resources, providing secure electronic communications, providing a range of modern

secure information and communication (multiservice) services in the interests of government in peacetime, in a state of emergency and during a special period. In addition, NTN is a dual-purpose network (system) with partial usage of its resources to provide services, including cyber security, to other consumers. Qualitative development of methods and techniques to ensure interference protection of NTN elements is impossible without predicting possible scenarios of the enemy and the interference situation that may arise.

It is proposed to use scenarios approach during adaptive algorithm development of interference protection of special means of communication against active radio and electromagnetic suppression of the enemy in hybrid actions and terrorist activities.

The method of substantiation of scenarios of RS and EMS of the transport platform (TP) of NTM and determination of scenarios of complex signal-interference situation is developed. These scenarios are necessary for the further synthesis of adaptive interference protection algorithms of TP NTN.

The method allows substantiating the composition and usage of RS and EMS measures of enemy within the timeline and b the elements of TP NTN terms of hybrid war against Ukraine.

It is concluded that it is necessary to synthesize the interference protection algorithms of communication channels, which will be adaptive to different scenarios of signaling, and interference situation that may occur.

Key words: electromagnetic suppression; electronic suppression; scenarios of radio suppression; emergency protection.

References

1. Sholokhov S. M., Tishchuk S. O., Zavatskiy O.B., Luchuk E. Electromagnetism of weapon: day, principle of storing that perspective of use in operations (combat actions). *Newsletter of military development*. 2005. No. 1 (10). S. 39–43.
2. Van Notten Ph. Scenario development: a typology of approaches. *Think Scenario. Rethink Education*. 2006. P. 69–84.
3. Wack P. Scenarios: Shooting the Rapids. *Harvard Business Review*. 1985. No. 5. P. 72–29.
4. Van Notten Ph. Writing on the wall: scenario development in times of discontinuity. Boca Raton: MU, 2005. 209 p.
5. Sholokhov S. M., Zavatskiy O. B., Luchuk E. V., Onisko A. I., Tikhonov G. M. Methods of determining the optimal methods of radio-electronic suppression of the enemy's new ACS with parts, which are equipped with the new generation REB. *Trudy Academy*. 2006. No. 66, pp. 112–119.
6. Sholokhov S. M., Hordiienko Y. V. Statement of the zealous task of rational development of the resource of the disparate radio-electronic struggle of the enemy on the elements of the transport platforms of the national telecommunication measure for the purpose of suppressing the scenario. *Special Telecommunications Systems and Information Security*. 2020. No. 1 (7). S. 34-40.
7. Sholokhov S. M., Hordiienko Yu. V. Assessment of the efficiency of radio-electronic and software-computer suppression of telecommunication systems of radio communication in the case of promising new methods of radio-electronic control in the power supply system. *Special Telecommunications Systems and Information Security*. 2019. No. 2 (6). S. 59–65.
8. Berzin E. A. Optimal distribution of resources and elements of systems synthesis. / ed. E. V. Zolotova. Moscow: Soviet Radio, 1974. 303 s.
9. Gurin L. S., Dymarskiy Y. S., Merkulov A. D. Problems and methods of optimal distribution of resources. Moscow: Soviet radio. 1968. 463 s.
10. Gmurman V. E. Probability theory and mathematical statistics. Moscow: Higher school, 1972. 368 p.
11. Ljung L. Systems identification. Theory for the user /trans. from English. / ed. Y.Z. Tsyapkina. Moscow: Nauka, 1991. 432.