

ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ ЩОДО ОЦІНКИ ЙМОВІРНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ ВОГНЕВОГО ТА РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ПРИДУШЕННЯ

¹Вакуленко О.В., ²Єрохін В.Ф.

¹*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського*

²*Інституту спеціального зв'язку та захисту інформації КПІ ім. Ігоря Сікорського*
E-mail: av31@bigmir.net

General approaches are in relation to estimation of probability of functioning of radio channels in the conditions of weapon and radio electronic suppression

General approaches open up in relation to estimation of probability of functioning of radio channels in the conditions of weapon and radio electronic suppression.

Для управління військами необхідно мати надійну систему зв'язку. Одним з елементів системи зв'язку є лінії зв'язку, які функціонують, під час бойових дій, в умовах вогневого та радіоелектронного придушення. Для прийняття управлінських рішень необхідно мати вихідні дані, в кількісних показниках, щодо надійності функціонування системи зв'язку так і окремих її елементів, наприклад лінії зв'язку. Тому розробка загальних підходів до оцінки ймовірності функціонування ліній зв'язку в умовах вогневого та радіоелектронного придушення під час бойових дій, являється актуальною в наш час.

Новизна. Визначена в комплексному підході до оцінки ймовірності функціонування ліній зв'язку в умовах вогневого та радіоелектронного придушення під час бойових дій.

Практична цінність. Результати дослідження доцільно використовувати при розробці національних стандартів, які визначають показники ефективності функціонування ліній зв'язку в умовах вогневого та радіоелектронного придушення під час бойових дій.

Мета дослідження. Розробити загальні підходи щодо оцінки ймовірності функціонування ліній зв'язку в умовах вогневого та радіоелектронного придушення під час бойових дій.

Об'єкт дослідження. Процес функціонування ліній зв'язку в умовах вогневого та радіоелектронного придушення під час бойових дій.

Предмет дослідження. Загальні підходи щодо оцінки ймовірності функціонування ліній зв'язку в умовах вогневого та радіоелектронного придушення під час бойових дій.

Незалежно від показників функціонування, які визначені для ліній зв'язку діючими Державними стандартами, користувача у кінцевому випадку цікавить – працює лінія зв'язку або ні. Якщо акцентувати увагу на більш «тонких» характеристиках, наприклад, статистика тривалості переривань у зв'язку та тривалості безперервної справної роботи, то в повній мірі визначається оцінка якості функціонування лінії зв'язку по величині середньої ймовірності її справного функціонування. Така оцінка може здатися грубою, однак при орієнтації конструйованого тут показника якості функціонування ліній зв'язку, а також при врахуванні статистики переривань зв'язку та неперервної справної роботи виявляється вкрай громіздким і як правило не застосовується на практиці. Це призводить до необхідності вивести допустимий час переривання у зв'язку в розряд обмежень. У

загальному випадку працездатність лінії зв'язку залежить від: технічної (експлуатаційно-технічної) надійності; надійності зв'язку, обумовленої характером поширення радіохвиль (тобто надійності по завмираннях) або дрейфом коефіцієнта ослаблення в кабельних лініях зв'язку; радіоелектронного придушення (РЕП) противником; вогневого впливу противника.

Природньо вважати показники технічної надійності незалежними від вогневого, радіоелектронного придушення і від надійності зв'язку за завмираннями. Однак, імовірність прийняття рішення противником на вогневе придушення (ВП) в загальному випадку може залежати від ймовірності прийняття рішення на РЕП [1, 3]. Дійсно, ймовірність прийняття рішення на РЕП прийнято визначати у загальному випадку як:

$$P_{\text{рп}} = \prod_{i=1}^n P_i, \quad i=1, 2, \dots, n.$$

Тут P_i – окремі ймовірності, що визначаються з подій, які можуть мати місце під час прийняття рішення на РЕП. Мають місце наступні залежності:

$$P_{\text{рп}} = P_{\text{ір}} P_{\text{др}} P_{\text{іп}}, \quad (1)$$

де $P_{\text{ір}}$ – ймовірність розкриття лінії зв'язку із заданою повнотою;

$P_{\text{др}}$ – доцільність радіоелектронного придушення;

$P_{\text{іп}}$ – ймовірність наявності вільного передавача завад.

Тоді з урахуванням специфіки вогневого придушення $P_{\text{вп}}$ запишеться так:

$$P_{\text{вп}} = P_{\text{ірл}} P_{\text{івд}} P_{\text{ім}} P_{\text{дв}} P_{\text{іву}}, \quad (2)$$

де $P_{\text{ірл}}$ – ймовірність розкриття лінії зв'язку;

$P_{\text{івд}}$ – ймовірність виявлення джерела випромінювання;

$P_{\text{ім}}$ – ймовірність визначення місцеположення станції;

$P_{\text{дв}}$ – доцільність прийняття рішення на вогневе ураження.

$P_{\text{іву}}$ – ймовірність наявності вільних засобів вогневого ураження.

У свою чергу відомо, що ймовірність визначення місцеположення станції випромінювання має вигляд:

$$P_{\text{ім}} = P_{\text{кп}} P_{\text{пел}} P_{\text{рв}}, \quad (3)$$

де $P_{\text{кп}}$ – ймовірність проходження команди на пеленгування;

$P_{\text{пел}}$ – ймовірність зняття пеленгів на станцію, що працює не менше, ніж двома пеленгаторами;

$P_{\text{рв}}$ – ймовірність роботи на випромінювання станції, яка пеленгується.

Розкриємо складову $P_{\text{пел}}$ більш детально. Як визначено [5] з основ застосування радіотехнічної розвідки ймовірність зняття пеленгів має певну кількість відомих складових таких, як

$$P_{\text{пел}} = \prod_{j=1}^m P_j, \quad j=1, 2, \dots, m.$$

В свою чергу ймовірність $P_j = 1 - e^{-\frac{\Delta f_p T_n}{\Delta f T_c}}$.

Доцільність придушення противником (як вогневого так, і радіоелектронного) залежить від оперативної обстановки, розвідувальної цінності лінії зв'язку та можливості її фізичного знищення. Тому в загальному випадку величину ймовірності $P_{\text{цр}}$ аналітично визначити важко. Виходячи із врахування максимальних можливостей противника по РЕП і ВП, можна представити $P_{\text{др}} = P_{\text{дв}} = 1$. Із цих же міркувань можна прийняти $P_{\text{іп}} = P_{\text{іву}} = 1$. Припустимо, що розкриті та запеленговані радіозасоби найбільш важливих об'єктів зв'язку (ПУ ОТУ, бригади, БТГ і т.д.), у відношенні яких противнику потрібне гарантоване запобігання передачі повідомлень одночасно вогневим і радіоелектронним придушенням (тобто $P_{\text{іп}} = 1$). Тоді ймовірність прийняття рішення на вогневе

придушення, через імовірність прийняття рішення на радіоелектронне придушення, запишеться

$$P_{вп} = P_{рп} P_{ивд} P_{ім} . \quad (4)$$

Надійність зв'язку по завмиранням залежить від рівня завад, від енергетичних характеристик, природи і статистики каналу, тому слід враховувати її не в обмеженнях, а в безпосередньому зв'язку з поведінкою комплексу радіоелектронного придушення противника [4]. Повільні завмирання, які найважче влаштувати, визначені змінами середовища поширення радіохвиль, відхиленнями коефіцієнтів підсилення антен і потужності передавальних пристроїв від номінальних значень та іншими випадковими факторами, призводять до того, що потужність сигналу й потужність навмисної завади на вході приймача мають випадковий характер і незалежні. Тут без деталізації аналітичного взаємозв'язку вважатимемо, що відношення потужності сигналу до потужності навмисної завади кількісно входить у ймовірність енергетичного придушення ($P_{еп}$).

Відповідно ймовірність надійності зв'язку по завмиранням при прийнятті противником рішення на РЕП ($P_{зрп}$) можна виразити через імовірність енергетичного придушення при ймовірності збігу часових інтервалів випромінювання сигналу і впливу навмисної завади:

$$P_{зрп} = 1 - P_{еп} P_t, \quad (5)$$

Будемо тут також припускати незастосування тих видів вогневого впливу, які можуть впливати на надійність по завмиранням. Уведемо наступні позначення:

$P_{ф}$ – ймовірність функціонування лінії зв'язку;

$P_{п} = 1 - P_{ф}$ – ймовірність простою лінії;

$P_{т}$ – технічна надійність;

$P_{фон}$ – ймовірність виживання при вогневому придушенні;

$P_{рп/вп}$ – ймовірність прийняття рішення на радіопридушення при прийнятому рішенні на вогневе придушення (з огляду на викладене вважаємо $P_{рп/оп} = 1$);

$P_{рп/вп}$ – ймовірність прийняття рішення на радіопридушення при неприйнятому рішенні на вогневе придушення;

$1 - P_{вп}$ – ймовірність неприйняття рішення противником на вогневе придушення;

$1 - P_{рп}$ – ймовірність неприйняття на радіопридушення

$1 - P_{рп/вп}$ – ймовірність неприйняття противником рішення на радіоелектронне придушення та одночасно – неприйняття рішення на вогневе придушення

За умови того, що завадами придушуються все розкриті об'єкти, а вогневим ураженням – найбільш важливі за рішенням командира, то можна записати:

$$P_{рп/вп} = P_{рп/вп} . \quad (6)$$

Тепер можна записати співвідношення для імовірності функціонування в різних типових ситуаціях.

1) При не зіткненні з противником, коли $P_{вп} = P_{рп} \equiv 0$, маємо:

$$P_{ф} = P_{т} = P_3, \quad (7)$$

2) Перед початком бойових дій, коли $P_{вп} \equiv 0$, $P_{рп} \geq 0$, отримуємо

$$(P_{рп/вп} = P_{рп})$$

$$P_{ф} = P_{т} [P_{рп} P_{зрп} + (1 - P_{рп}) P_3]$$

Безумовно, що $P_{зрп} \leq P_3$.

3) У разі, коли противник застосовує або вогневе, або радіопридушення, тобто коли $P_{оп/рп} \equiv 0$, то можемо записати

$$P_{ф} = P_{т} P_{вп} P_{фон} P_3 + P_{т} (1 - P_{оп}) [P_{рп/вп} P_{зрп} + (1 - P_{рп/вп}) P_3] \quad (9)$$

Якщо тепер припустити, що один із способів придушення (вогневе або радіоелектронне) застосовується обов'язково, тобто $P_{оп} + P_{рп} \equiv 1$, звідки $P_{рп/оп} = 1$, то отримуємо:

$$P_{\phi} = P_{т} P_{вп} P_{\phiоп} P_{з} + P_{т} (1 - P_{вп}) P_{зрп} \quad (10)$$

4) У загальному випадку довільної залежності між $P_{оп}$ і $P_{рп}$ отримуємо:

$$P_{\phi} = P_{т} P_{вп} P_{\phiоп} [P_{рп/оп} P_{зрп} + (1 - P_{рп/вп})] + P_{т} (1 - P_{вп}) [P_{рп/вп} P_{зрп} + (1 - P_{рп/вп}) P_{з}] \quad (11)$$

Якщо лінія зв'язку абсолютно живуча ($P_{\phiо} \equiv 1$) і рішення на радіопридушення приймається незалежно від рішення на вогневе придушення ($P_{рп/вп} \equiv P_{рп/вп} = P_{рп}$), то із (11) отримаємо:

$$P_{\phi} = P_{т} [P_{рп} P_{зрп} + (1 - P_{рп}) P_{з}] \quad (12)$$

Якщо лінія зв'язку абсолютно завадостійка ($P_{зрп} \equiv P_{з}$), то при цій же умові ($P_{рп/оп} \equiv P_{рп/вп} = P_{рп}$) із (11) отримуємо:

$$P_{\phi} = P_{т} P_{з} [P_{вп} P_{\phiоп} + (1 - P_{вп})] = P_{т} P_{з} [1 - P_{вп} (1 - P_{\phiоп})] \quad (13)$$

Розглянемо детальніше другий випадок. Надійність по завмиранням $P_{з}$ у порівнянні з надійністю по завмиранням в умовах навмисних завад можна припустити як така, що наближається до одиниці. Після розкриття дужок і заміни $P_{зрп}$ на (7), отримаємо

$$P_{\phi} = P_{т} P_{з} - P_{т} P_{рп} P_{еп} P_{т} \quad (14)$$

На практиці частіше всього при оцінці якості лінії зв'язку використовують імовірність (коефіцієнт) простою $P_{п}$, який дорівнює $1 - P_{\phi}$. У (14) від'ємник $P_{т} P_{з}$, що характеризує надійність зв'язку при відсутності РЕП, прийемо рівним одиниці. Очевидно, $P_{т} = 1$. Звідси, як часткове рішення, отримуємо відоме раніше співвідношення:

$$P_{п} = P_{рп} P_{еп} P_{т}$$

Висновки. Запропоновані підходи доцільно використовувати при розробці стандартів, які визначають показники ефективності функціонування ліній зв'язку, а також для прийняття управлінських рішень щодо застосування ліній зв'язку в умовах вогневого та радіоелектронного придушення під час бойових дій.

Література

1. Боговик А.В. Теория управления в системах военного назначения / С.С.Загорулько, И.С.Ковальов, И.В.Котенко, А.В.Масановец / МО – М., 2001, 320 с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебник – 12-е изд., стер. – М.: ЮСТИЦИЯ, 2018. – 658 с.
3. Казанцев О.Ю. Основы принятия решений та управлінська діяльність у військовій справі / Казанцев О.Ю., Гап'юк В.М., Мягков О.В., Каленський А.А. / ВІКНУ – К., 2003, 195 с.
4. Макаренко С.И., Иванов М.С., Попов С.А. Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. Монография. – СПб.: Свое издательство, 2013. – 166 с.: ил.
5. Смирнов Ю.А. Радиотехническая разведка. – М.: Воениздат, 2001. – 456 с., ил.