

УДК 355.424.3

М.В. Кас'яненко, В.П. Ясинецький

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ НАПРЯМКІВ, ЯКІ ВКЛЮЧАЮТЬ РІЗНОРІДНІ КАНАЛИ ЗВ'ЯЗКУ З РІЗНОЮ ПРОПУСКНОЮ СПРОМОЖНІСТЮ

Запропоновано удосконалену методика оцінювання ефективності інформаційних напрямків, які включають S різнорідних каналів зв'язку з різною пропускною спроможністю, що враховує три самостійних, незалежних та випадкових процеси: старіння інформації, передавання повідомлень та відновлення каналів зв'язку внаслідок їх відмов з різних причин.

Ключові слова: система зв'язку, ефективність інформаційних напрямків системи зв'язку, методика.

Вступ

Постановка проблеми. Аналіз розвитку воєнного мистецтва, досвіду локальних війн та збройних конфліктів свідчить про те, що збройна боротьба, вступила в свою якісно нову фазу розвитку. Основними рисами сучасних бойових дій є: висока динамічність, рішучість, гостра боротьба за захоплення і утримання ініціативи, різкі й часті зміни обстановки.

Зміни в збройній боротьбі призводять до зростання “фактору часу”. Значно скорочуються строки на приведення військ у бойову готовність, підготовку бойових дій (операцій), збір і обробку інформації, вироблення замислу, доведення завдань військам. Вказані обставини обумовлюють підвищення рівня вимог до систем управління військами. Із зростанням ролі і значення систем управління військами зростає і роль її матеріальної основи – системи зв'язку, підвищуються вимоги до них. Відомий постулат «втрата зв'язку це втрата управління», набуває на теперішній час, як ніколи, актуального значення. Досвід локальних війн і конфліктів останніх років, результати командно-штабних, тактичних і тактико-спеціальних навчань свідчить про те, що чим складніші умови операції (бойових дій), тим більше значення відіграє система зв'язку в досягненні її мети.

Зростання ролі системи зв'язку висуває на передній план необхідність проведення детального аналізу та її оцінювання, з метою своєчасного визначення шляхів та напрямків удосконалення.

Для цього необхідно мати відповідний науково-методичний апарат, зокрема методика оцінювання ефективності функціонування системи зв'язку.

Аналіз останніх джерел і публікацій. Дослідженню питання оцінювання ефективності систем зв'язку і зокрема інформаційних напрямків присвячена низка робіт, а саме [1 – 5], в яких запропоновані математичні моделі та методики оцінювання ефективності систем зв'язку військового призначення, які в свій час зробили вагомий внесок у розвиток теоретичних основ дослідження систем зв'язку. Але ці підходи не дають можливості у повній мірі оцінити системи зв'язку військового призначення так, як не враховують низку особливостей їх функціонування. Так наприклад, в [1, 2] не враховано: багатопріоритетність потоку повідомлень, що надходить; дисципліну обслуговування повідомлень; термін збереження оперативного-тактичної цінності інформації. У [3, 4] більшість з цих недоліків усунуто, але не враховані особливості побудови інформаційних напрямків.

В статті “Оцінка ефективності системи зв'язку Повітряного командування” [5] авторами вже пропо-

нувалась удосконалена методика оцінювання ефективності функціонування системи зв'язку. Проте поза увагою авторів залишився той факт, що інформаційні напрямки можуть бути організовані не тільки за допомогою однорідних каналів зв'язку, але і різнорідних з різною пропускною спроможністю (рис. 1). Особливістю таких інформаційних напрямків є те, що канали зв'язку, на відміну від однорідних, виходять з ладу та відновлюються незалежно один від одного. Тому запропонована в [5] методика не дозволяє детально оцінити ефективність функціонування інформаційних напрямків і тим самим виявити слабкі місця системи зв'язку військового призначення.

Формулювання мети статті. У даній статті авторами пропонується удосконалена методика оцінювання ефективності інформаційного напрямку системи зв'язку що складається з S різнорідних каналів зв'язку з різною пропускною спроможністю, яка може бути використана при оцінюванні ефективності систем зв'язку військового призначення.

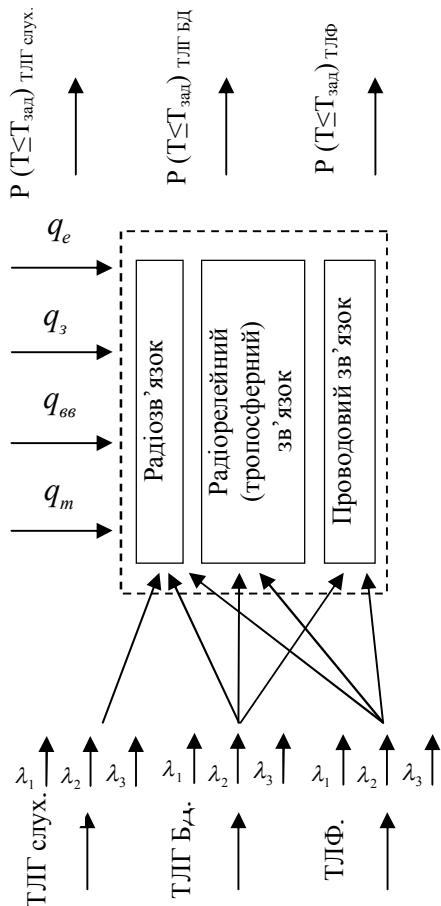


Рис. 1. Графічна модель інформаційного напрямку з різнорідними каналами зв'язку з різною пропускною спроможністю ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – інтенсивності потоків повідомлень першого, другого та третього пріоритету; $q_m, q_{вв}, q_з, q_e$ – імовірність відмови з технічних причин, вогневого впливу противника, навмисних завад, порушення вимог електромагнітної сумісності)

Викладення основного матеріалу

В якості основного показника ефективності функціонування інформаційного напрямку системи зв'язку обрано його здатність забезпечувати обмін повідомленнями у задані (нормативні) терміни (Q).

З одного боку, даний показник, є функцією таких характеристик інформаційного напрямку, як пропускна спроможність (μ) та коефіцієнт стійкості ($K_{ст}$), тобто $Q = f(\mu; K_{ст})$. А з іншого, він характеризується імовірністю того, що час проходження повідомлень (t) не буде перевищувати заданого ($T_{зад}$), тобто $Q = P(t \leq T_{зад})$.

У той же час імовірність проходження повідомлень у задані терміни повинна відповідати умові, що за час перебування повідомлення у системі зв'язку інформація, яка міститься в ньому, не повинна втратити оперативно-тактичної цінності.

Ці вимоги можуть бути описані виразом:

$$P(t \leq T_{зад}) = \int_0^{T_{зад}} dF_c(t) = \int_0^{T_{зад}} dF_v(t), \quad (1)$$

де t – час проходження повідомлення у системі; T_v – час збереження оперативно-тактичної цінності інформації, яку передають; $T_{зад}$ – заданий час проходження повідомлень.

У свою чергу імовірність того, що за час проходження повідомлення (t) інформація, яка міститься в ньому, не втрапить оперативно-тактичної цінності, може бути визначена у вигляді інтеграла Стільтьєса [6], тобто

$$Q(t) = \int_0^t dF_c(t) = \int_0^t d[1 - \overline{F_v(t)}]. \quad (2)$$

Цей вираз справедливий при будь-якому законі розподілу часу збереження цінності інформації $F_v(t)$ [8]. При розрахунках вважається, що цінність інформації змінюється по показовому закону $F_v(t) = 1 - \overline{F_v(t)} = e^{-vt}$, де v – параметр втрати цінності інформації [6]. На основі цього можна зробити висновок, що імовірність того, що за час $t \leq T_{зад}$ інформація, що міститься в повідомленні, не втрапить цінності, описується перетворенням Лапласа-Стільтьєса (Q) у вигляді

$$P(t \leq T_{зад}) = \int_0^{T_{зад}} [1 - e^{-vt}] dF_c(t) = Q(T_{зад}). \quad (3)$$

Згідно з оперативно-тактичними вимогами до зв'язку, щодо проходження повідомлень у задані терміни, коли час проходження повідомлення (t) не повинен перевищувати заданого ($T_{зад}$) з імовірністю $P \leq P_{зад}$, показовий закон втрати цінності інформації можна апроксимувати як

$$F_v(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } t \leq T_{\text{зад}} \\ 0 & \text{при } t > T_{\text{зад}} \end{cases} \quad (4)$$

Підставивши значення $F_v(t)$ у (2), отримаємо

$$F_v(t) = P(t \leq T_v) = \int_0^{T_{\text{зад}}} 1dF_c(t) + \int_{T_{\text{зад}}}^{\infty} 0dF_c(t) = \\ = F_c(T_{\text{зад}}) = P(t \leq T_{\text{зад}}). \quad (5)$$

Цей вираз доводить, що при визначених умовах імовірність проходження повідомлень у задані терміни та середнє значення цінності інформації збігаються.

Вимоги, що до термінів проходження різних видів інформації задають різними. Так, для телефонного зв'язку вимагається, щоб час очікування ($T_{\text{оч}}$), включаючи час складання каналу, не перевищував заданого часу очікування ($T_{\text{оч зад}}$), а для телеграфного – час проходження повідомлення у системі зв'язку (T) не перевищував заданого часу ($T_{\text{зад}}$) з імовірністю $P_{\text{зад}}$.

Саме тому проходження телефонних повідомлень у задані терміни доцільно оцінювати безпосередньо за функцією розподілу часу очікування, а проходження телеграфних повідомлень у задані терміни – за функцією розподілу часу проходження повідомлень у системі зв'язку.

Для застосування єдиного підходу та використання узагальненого показника оцінювання ефективності системи зв'язку під час проходженні як телефонних, так і телеграфних повідомлень, необхідно привести задані вимоги до $T_{\text{зад}}$ до вимог $T_{\text{оч зад}}$, вважаючи час допоміжних операцій $T_{\text{до}}$ та еквівалентний час передавання $T_{\text{пе}}$ відомими величинами:

$$T_{\text{оч доп}} = T_{\text{зад}} - T_{\text{пе}} - T_{\text{до}}. \quad (6)$$

При такому підході може бути використаний узагальнений показник:

$$P(t \leq T_{\text{зад}}) = F_{\text{оч}}(t_{\text{оч}} \leq T_{\text{оч доп}}) = Q = f(\mu; K_{\text{ст}}),$$

який визначає імовірність проходження телефонних та телеграфних повідомлень у системі зв'язку у визначені терміни.

Оцінювання ефективності функціонування інформаційних напрямків системи зв'язку за обраним показником дозволяє встановити, чи здатен він при тій чи іншій структурі забезпечити своєчасне проходження необхідного обсягу інформації.

Через те, що інформаційні напрямки системи зв'язку функціонують в умовах великої кількості випадкових факторів, найповніше оцінювання їх ефективності за обраним показником можливе лише на основі використання математичного моделювання.

Основною метою математичного моделювання процесу функціонування інформаційних напрямків системи зв'язку є виявлення функціональної залеж-

ності $P(t \leq T_{\text{зад}})$ від $\mu, K_{\text{ст}}$, на основі якої можна провести оцінювання ефективності функціонування існуючих інформаційних напрямків системи зв'язку і, в разі необхідності, визначити напрямки їх удосконалення. Виходячи з практики очевидно, що під час моделювання процесу функціонування інформаційних напрямків системи зв'язку необхідно враховувати три самостійних, незалежних та випадкових процеси: старіння інформації, передавання повідомлень та відновлення каналів зв'язку через їх відмови з різних причин. Для математичного опису процесу проходження повідомлень будь-який з інформаційних напрямків системи зв'язку можна подати у вигляді S-канальної системи масового обслуговування з очікуванням, на вхід якої поступають багатопріоритетні потоки повідомлень. Нехай на вхід такої системи надходять три незалежних пуассонівських потоки повідомлень з інтенсивністю $\lambda_{\text{тлф}}, \lambda_{\text{тлфБД}}, \lambda_{\text{тлг слух}}$, які містять повідомлення трьох пріоритетів ($i = 1, 2, 3$) з різними вимогами щодо своєчасності проходження.

Перш ніж досліджувати S-канальний інформаційний напрямок передавання оперативно-тактичної інформації, розглянемо спочатку простіший випадок, коли $S = 1$, тобто інформаційний напрямок є одноканальним. У разі надходження на вхід такого інформаційного напрямку повідомлень першого пріоритету обслуговування їх відбувається у порядку надходження. У зв'язку з цим у момент надходження i -го повідомлення канал зв'язку може бути зайнятий обслуговуванням $(i-1)$ -го повідомлення. При цьому час очікування початку обслуговування i -го повідомлення не повинно перевищувати $T_{\text{оч доп}}$.

Для визначення функції розподілу часу очікування $F_{\text{оч}}(t_{\text{оч}} \leq T_{\text{оч доп}})$ для потоку повідомлень першого пріоритету використаємо перетворення Лапласа-Стільтьєса від функції $F_{\text{оч}}(T_{\text{оч доп}})$ [7]:

$$P(t \leq T_{\text{зад}}) = F_{\text{оч}}(t_{\text{оч}} \leq T_{\text{оч доп}}) = f_{\text{оч}}(v) = 1 - \\ - \left(P_3 \frac{v - \mu_{\text{ел}} [1 - f_{\text{зел}}(v)]}{v - \lambda_1 [1 - f_{\text{зел}}(v)]} + P_B \frac{v - \mu_B [1 - f_B(v)]}{v - \lambda_1 [1 - f_{\text{зел}}(v)]} \right), \quad (7)$$

де $f_{\text{зел}}(v)$ – перетворення Лапласа-Стільтьєса від функції розподілу часу проходження повідомлення в каналі $F_{\text{зел}}(t)$, що визначається функціональним рівнянням $f_{\text{зел}}(v) = f_{\text{зл}}[v + \lambda_0(1 - f_B(v))]$; $f_B(v)$ – перетворення Лапласа-Стільтьєса від функції розподілу часу відновлення каналу зв'язку через його відмову під час передавання повідомлення $F_B(t)$; μ_B – інтенсивність відновлення каналу, яка дорівнює $\mu_B = 1/T_B$; P_3 – імовірність застати канал зайнятим передачею повідомлення першого пріоритету (у тому числі під час відновлення після відмови у момент передачі). Для одноканального напрямку ця імовірність дорівнює коефіцієнту завантаженості каналу

ρ_3 повідомленнями цього пріоритету; P_B – імовірність застати канал під час відновлення після відмови. Імовірність P_B може мати сенс імовірності застати канал під час відновлення після відмови у вільному P_{BC} або довільному стані P_{Π} . Оскільки повідомлення надходять у канал незалежно від стану каналу, доцільно розглядати імовірність P_B як імовірність застати канал під час відновлення після відмови у довільному стані, тобто $P_B = P_{\Pi}$.

У виразі (7) можна виділити дві складові, обумовлені різними причинами виникнення очікування: імовірністю під час надходження повідомлення застати канал зайнятим передачею повідомлення вищого або рівного пріоритету, що надійшло раніше – P_3 ; імовірністю застати канал під час відновлення після відмови – P_B . Кожна з цих складових являє собою добуток імовірності відповідної причини очікування на функцію розподілу часу очікування з даної причини, тобто

$$F_{\text{оч}}(T_{\text{оч доп}}) = 1 - P_3 \overline{F_{\text{оч3}}}(T_{\text{оч доп}}) - P_{\Pi} \overline{F_{\text{очв}}}(T_{\text{оч доп}}), \quad (8)$$

$$\text{де } \overline{F_{\text{оч3}}}(T_{\text{оч доп}}) = 1 - F_{\text{оч3}}(T_{\text{оч доп}}) = \frac{v - \mu_{e1}[1 - f_{3el}(v)]}{v - \lambda_1[1 - f_{3el}(v)]} -$$

функція розподілу часу очікування з причини зайнятості каналу;

$$\overline{F_{\text{очв}}}(T_{\text{оч доп}}) = 1 - F_{\text{очв}}(T_{\text{оч доп}}) = \frac{v - \mu_B[1 - f_B(v)]}{v - \lambda_1[1 - f_{3el}(v)]} -$$

функція розподілу часу очікування з причини відновлення каналу після відмови.

Функції розподілу часу очікування $\overline{F_{\text{оч}}}(T_{\text{оч доп}})$ та $\overline{F_{\text{очв}}}(T_{\text{оч доп}})$ можуть бути визначені за перетворенням Лапласа-Стільтьєса за допомогою таблиць при простіших законах розподілу T_{Π} та T_B [6].

При довільних законах розподілу T_{Π} та T_B перетворення Лапласа-Стільтьєса від цих функцій є нетабличними, тому для їх визначення доцільно застосувати наближені методи. Універсальним методом визначення функцій розподілу часу очікування є гамма-розподіл. Для повного опису гамма-розподілу досить двох параметрів – середнього часу очікування $\overline{T_{\text{оч}}}$ та показового відхилення ω . Середнє значення часу очікування $\overline{T_{\text{оч}}}$ можна визначити з виразу (7):

$$\begin{aligned} \overline{T_{\text{оч}}} &= -\frac{d}{dv} f_{\text{оч}}(v) \Big|_{v \rightarrow 0} = \\ &= P_3 \frac{D(T_{2n})}{2(1 - \rho_3)K_{\text{ст}}T_{\Pi}} + P_{\Pi} \frac{D(T_{2B})}{2(1 - \rho_3)T_B}, \end{aligned} \quad (9)$$

де $D(T_{2n})$ – другий початковий момент часу передачі повідомлення, що дорівнює $D(T_{2n}) = (1 + \omega)T_{\Pi}^2$; $D(T_{2B})$ – другий початковий момент часу відновлення каналу, що дорівнює $D(T_{2B}) = (1 + \omega)T_B^2$; $K_{\text{ст}}$ – коефіцієнт стійкості каналу зв'язку:

$$K_{\text{ст}} = (1 - q_m)(1 - q_{\text{вв}})(1 - q_3)(1 - q_e),$$

де q_m – імовірністю відмови каналу з технічно-експлуатаційних причин, $q_{\text{вв}}$ – імовірністю відмови каналу з причини вогневого впливу противника, q_3 – імовірністю відмови каналу з причини навмисних завади, q_e – імовірністю відмови каналу з причини випадкових завади та порушення ЕМС.

Через те, що час T_{Π} і T_B підпорядковані показовому закону розподілу, показник розкиду у цьому випадку $\omega = 1$. Тоді

$$D(T_{2n}) = 2T_{\Pi}^2 \quad \text{та} \quad D(T_{2B}) = 2T_B^2. \quad (10)$$

З урахуванням (10) вираз (9) буде мати вигляд

$$T_{\text{оч}} = P_3 \frac{T_{\Pi}}{(1 - \rho_3)K_{\text{ст}}} + P_{\Pi} \frac{T_B}{(1 - \rho_3)} = P_3 \overline{T_{\text{оч3}}} + P_{\Pi} \overline{T_{\text{очв}}}, \quad (11)$$

де $\overline{T_{\text{оч3}}}$ – середній час очікування з причини зайнятості каналу, що дорівнює:

$$\overline{T_{\text{оч3}}} = P_3 \cdot \overline{T_{\Pi}} / ((1 - \rho_3)K_{\text{ст}}) = \overline{T_{\text{пе}}} / (1 - \rho_3), \quad (12)$$

де $\overline{T_{\text{пе}}}$ – середній еквівалентний час передавання повідомлення в каналі, що дорівнює $\overline{T_{\text{пе}}} = \overline{T_{\Pi}} / K_{\text{ст}}$; $\overline{T_{\text{очв}}}$ – середній час очікування з причини відновлення каналу після відмови, який дорівнює

$$\overline{T_{\text{очв}}} = \overline{T_B} / (1 - \rho_3); \quad (13)$$

де ρ_3 – коефіцієнт завантаження каналу, який дорівнює $\rho_3 = \lambda / \mu_3 < 1$.

Враховуючи, що функція гамма-розподілу з достатньою точністю може бути наведена у вигляді [8]

$$F(t) = F(\omega, \tau) = 1 - e^{-\tau/\omega} (1 + 2\tau)^{1/\omega - 1}, \quad (14)$$

при $0,5 \leq 1/\omega \leq 3$, то при показовому законі розподілу часу T_{Π} і T_B функції розподілу часу очікування будуть дорівнювати

$$F_{\text{оч3}}(T_{\text{оч доп}}) = 1 - e^{-\tau_{\text{оч3}}} \quad \text{та} \quad F_{\text{очв}}(T_{\text{оч доп}}) = 1 - e^{-\tau_{\text{очв}}}, \quad (15)$$

де $\tau_{\text{оч3}}$ – приведений час очікування з причини зайнятості каналу, що дорівнює $\tau_{\text{оч3}} = T_{\text{оч доп}} / \overline{T_{\text{оч3}}}$;

$\tau_{\text{очв}}$ – приведений час очікування з причини відновлення каналу, що дорівнює $\tau_{\text{очв}} = T_{\text{оч доп}} / \overline{T_{\text{очв}}}$.

Тобто, безумовні функції розподілу часу очікування $F_{\text{оч3}}(T_{\text{оч доп}})$ та $F_{\text{очв}}(T_{\text{оч доп}})$ дорівнюють

$$F_{\text{оч3}}(T_{\text{оч доп}}) = e^{-\tau_{\text{оч3}}} \quad \text{та} \quad F_{\text{очв}}(T_{\text{оч доп}}) = e^{-\tau_{\text{очв}}}. \quad (16)$$

Тоді, з урахуванням (16), вираз для визначення імовірності проходження повідомлень першого пріоритету у задані терміни в одноканальному інформаційному напрямку буде мати такий вигляд:

$$P(t \leq T_{\text{зад}}) = F_{\text{оч}}(T_{\text{оч доп}}) = 1 - P_3 e^{-\tau_{\text{оч3}}} - P_{\Pi} e^{-\tau_{\text{очв}}}. \quad (17)$$

Зважаючи на те, що вимоги до своєчасності проходження повідомлень досить високі, цей вираз справедливий за умови $P_3 + P_{\Pi} \leq 1$.

Для визначення імовірності своєчасного проходження повідомлень наступних пріоритетів, необхідно дію повідомлень вищих пріоритетів прирівняти до дій відмов каналів з часом відновлення, що дорівнює зайнятості каналу для передачі цих повідомлень. Тому для повідомлень другого пріоритету еквівалентні характеристики стійкості каналу з урахуванням дії повідомлень першого пріоритету можна визначити по формулам

$$\lambda_{0(2)} = \lambda_0 + \lambda_1; \quad (18)$$

де λ_0, λ_1 – інтенсивність потоку відмов каналу та потоку повідомлень першого пріоритету відповідно;

- еквівалентний коефіцієнт стійкості, тобто імовірність застати канал вільним, від повідомлень першого пріоритету та справним

$$K_{ст(2)} = K_{ст}(1 - \rho_{з1}), \quad (19)$$

де $K_{ст}$ – коефіцієнт стійкості каналу; $\rho_{з1} = \lambda_1 T_{зe1}$ – еквівалентна загрузка каналу повідомленнями першого пріоритету;

- еквівалентний середній час відновлення

$$T_{B2} = P_{п2} K_{ст} T_B / (K_{ст2} P_{п}), \quad (20)$$

де $P_{п2}$ – коефіцієнт простою каналу, що дорівнює $P_{п2} = 1 - K_{ст2}$.

Визначення імовірності $P(T \leq T_{зад})$ повідомлень другого пріоритету здійснюється за формулами, що і для повідомлень першого пріоритету, із заміною $K_{ст}$ на $K_{ст2}$, $P_{п}$ на $P_{п2}$, T_B на T_{B2} . Аналогічно визначається $P(T \leq T_{зад})$ повідомлень третього пріоритету, тобто спочатку визначається еквівалентні характеристики стійкості за формулами (18 – 20) з заміною $K_{ст2}$ на $K_{ст3}$, $P_{п2}$ на $P_{п3}$, T_{B2} на T_{B3} , а потім визначається імовірність своєчасного проходження. Отриманий вираз (17) справедливий для визначення $P(t \leq T_{зад})$ повідомлень різних пріоритетів на інформаційному напрямку, що складається з S однорідних каналів із однаковою пропускну здатністю. У цьому випадку пропускна спроможність інформаційного напрямку дорівнює:

$$\mu_{S_e} = S\mu_{ке} \quad \text{або} \quad \mu_{S_e} = 1/T_{пез},$$

де $\mu_{ке}$ – оперативна пропускна спроможність каналу; $T_{пез}$ – середній еквівалентний час передавання повідомлення у багатоканальному інформаційному напрямку із однорідними каналами, що дорівнює $T_{пез} = T_{п}/SK_{см}$. Імовірність застати зайнятими всі канали визначається по формулі:

$$P_3 = \frac{(S\rho_e)^S}{S!(1-\rho_e) \left[\frac{(S\rho_e)^S}{S!(1-\rho_e)} + \sum_{n=0}^{S-1} \frac{(S\rho_e)^n}{n!} \right]}, \quad (21)$$

де $\rho_e = \lambda T_{пез}$.

При визначенні імовірності проходження повідомлень першого пріоритету у задані терміни на інформаційному напрямку, що складається з S різнорідних каналів зв'язку з різною пропускну здатністю, необхідно виходити з того, що очікування повідомлень в системі можуть виникнути з 3-х причин:

- всі канали зайняті передачею повідомлень вищого пріоритету;
- всі канали відновлюються після відмов;
- частина каналів зайнята, а частина відновлюється.

Тому функцію розподілу часу очікування $F_{оч}(t)$ доцільно визначати у вигляді суми умовних функцій розподілу, кожна з яких є добуток імовірності очікування з і-ї причини на додаткову функцію розподілу часу очікування з даної причини.

Отримання загального виразу, що дозволяє визначити своєчасність проходження повідомлення на інформаційному напрямку з S різнорідних каналів зв'язку є важкою задачею. Вона може бути вирішена тільки для обмеженого числа каналів на інформаційному напрямку. Досвід навчання показує, що на основних інформаційних напрямках руху інформації, може бути до п'яти каналів для кожного виду зв'язку. Приймавши за основу тіж самі міркування та припущення, які були зроблені при виводі виразу для одноканального напрямку, отримаємо формулу для оцінювання $P(t \leq T_{зад})$ в інформаційному напрямку, що складається з п'яти різнорідних каналів:

$$\begin{aligned} P(t \leq T_{зад}) = & 1 - P_3^1 \left(\sum_{i=1}^5 P_{zi} \prod_{j=1}^4 P_{пi \oplus j} e^{-\tau_{очi}} \right) - \\ & - P_3^2 \left(\sum_{i=1}^5 P_{zi, i \oplus 5} P_{пi \oplus 5} P_{пi \oplus 3} P_{пi \oplus 4} e^{-\tau_{очi, i \oplus 5}} + \right. \\ & \left. + \sum_{i=1}^5 P_{zi, i \oplus 5} P_{пi \oplus 5} P_{пi \oplus 3} P_{пi \oplus 4} e^{-\tau_{очi, i \oplus 5} 2} \right) - \\ & - P_3^3 \left(\sum_{i=1}^5 P_{zi, i \oplus 5, i \oplus 3} P_{пi \oplus 5} P_{пi \oplus 4} e^{-\tau_{очi, i \oplus 5, i \oplus 3}} + \right. \\ & \left. + \sum_{i=1}^5 P_{zi, i \oplus 5, i \oplus 4} P_{пi \oplus 5} P_{пi \oplus 3} e^{-\tau_{очi, i \oplus 5, i \oplus 4}} \right) - \\ & - P_3^4 \left(\sum_{i=1}^5 P_{zi, i \oplus 5, i \oplus 2, i \oplus 3} P_{пi \oplus 5} P_{пi \oplus 4} e^{-\tau_{zi, i \oplus 5, i \oplus 2, i \oplus 3}} \right) - \\ & - P_3^5 e^{-\tau_{оч3}} - P_{пe}^5 e^{-\tau_{очв}}, \end{aligned} \quad (22)$$

де $P_3^1, P_3^2, P_3^3, P_3^4, P_3^5$ – імовірності застати зайнятими один, два, три, чотири, п'ять каналів відповідно, котрі можуть бути визначені за формулами Ерланга

$$P_3^S = \frac{\rho_e^S}{S!} / \sum_{S=0}^n \frac{\rho_e^S}{S!}, \quad S = 0, 1, 2, \dots, n, \quad (23)$$

де $\rho_e = \lambda/\mu_{в\Sigma}$.

Решта параметрів, що входять у (22), розглядаються далі.

Еквівалентна пропускна спроможність інформаційного напрямку, що складається з п'яти різних каналів зв'язку, дорівнює:

$$\mu_{e\Sigma} = \mu_{e1} + \mu_{e2} + \mu_{e3} + \mu_{e4} + \mu_{e5} \quad (24)$$

Імовірність застати всі канали під час відновлення P_{Π}^5 може бути визначена по формулі

$$P_{\Pi}^5 = \prod_{i=1}^5 P_{\Pi i} \quad (25)$$

Імовірність застати зайнятими канали $P_{z1}, P_{z1,i\oplus 5 1}, P_{z1,i\oplus 5 2}, P_{z1,i\oplus 5 1,i\oplus 5 3}, P_{z1,i\oplus 5 1,i\oplus 5 4}, P_{z1,i\oplus 5 1,i\oplus 5 2,i\oplus 5 3}$ визначається з наступних співвідношень

$$\begin{aligned} P_{z1} &= \mu_{e1} / \mu_{e\Sigma}; \\ P_{z1,i\oplus 5 1} &= (\mu_{e1} + \mu_{i\oplus 5 1}) / (4\mu_{e\Sigma}); \\ P_{z1,i\oplus 5 2} &= (\mu_{e1} + \mu_{i\oplus 5 1}) / (4\mu_{e\Sigma}); \\ P_{z1,i\oplus 5 1,i\oplus 5 3} &= (\mu_{e1} + \mu_{i\oplus 5 1} + \mu_{i\oplus 5 3}) / (6\mu_{e\Sigma}); \\ P_{z1,i\oplus 5 1,i\oplus 5 4} &= (\mu_{e1} + \mu_{i\oplus 5 1} + \mu_{i\oplus 5 4}) / (6\mu_{e\Sigma}); \\ P_{z1,i\oplus 5 1,i\oplus 5 2,i\oplus 5 3} &= \\ &= (\mu_{e1} + \mu_{i\oplus 5 1} + \mu_{i\oplus 5 2} + \mu_{i\oplus 5 3}) / (4\mu_{e\Sigma}). \end{aligned}$$

Приведений час очікування $\tau_{оч}$, обумовлений різними причинами, можна визначити за формулами

$$\begin{aligned} \tau_{очз} &= T_{очдоп}(1 - \rho_e)\mu_{e\Sigma}; \\ \tau_{очв} &= T_{очдоп}(1 - \rho_e)\mu_{в\Sigma}; \\ \tau_{очі} &= T_{очдоп}(1 - \rho_e)\mu_{e\Sigma i}; \\ \tau_{очі,i\oplus 5 1} &= T_{очдоп}(1 - \rho_e)\mu_{e\Sigma i,i\oplus 5 1}; \\ \tau_{очі,i\oplus 5 2} &= T_{очдоп}(1 - \rho_e)\mu_{e\Sigma i,i\oplus 5 2}; \\ \tau_{очі,i\oplus 5 1,i\oplus 5 3} &= T_{очдоп}(1 - \rho_e)\mu_{e\Sigma i,i\oplus 5 1,i\oplus 5 3}; \\ \tau_{очі,i\oplus 5 1,i\oplus 5 4} &= T_{очдоп}(1 - \rho_e)\mu_{e\Sigma i,i\oplus 5 1,i\oplus 5 4}; \\ \tau_{очі,i\oplus 5 1,i\oplus 5 2,i\oplus 5 3} &= T_{очдоп}(1 - \rho_e)\mu_{e\Sigma i,i\oplus 5 1,i\oplus 5 2,i\oplus 5 3}; \\ \mu_{e\Sigma i} &= \mu_{e1} + \mu_{вi\oplus 5 1} + \mu_{вi\oplus 5 2} + \mu_{вi\oplus 5 3} + \mu_{вi\oplus 5 4}; \\ \mu_{e\Sigma i,i\oplus 5 1} &= \mu_{e1} + \mu_{e\oplus 5 1} + \mu_{вi\oplus 5 2} + \mu_{вi\oplus 5 3} + \mu_{вi\oplus 5 4}; \\ \mu_{e\Sigma i,i\oplus 5 2} &= \mu_{e1} + \mu_{e\oplus 5 2} + \mu_{вi\oplus 5 1} + \mu_{вi\oplus 5 3} + \mu_{вi\oplus 5 4}; \\ \mu_{e\Sigma i,i\oplus 5 1,i\oplus 5 3} &= \mu_{e1} + \mu_{e\oplus 5 1} + \mu_{e\oplus 5 3} + \mu_{вi\oplus 5 2} + \mu_{вi\oplus 5 4}; \\ \mu_{e\Sigma i,i\oplus 5 1,i\oplus 5 4} &= \mu_{e1} + \mu_{e\oplus 5 1} + \mu_{e\oplus 5 4} + \mu_{вi\oplus 5 2} + \mu_{вi\oplus 5 3}; \\ \mu_{e\Sigma i,i\oplus 5 1,i\oplus 5 2,i\oplus 5 3} &= \mu_{e1} + \mu_{e\oplus 5 1} + \mu_{e\oplus 5 2} + \mu_{e\oplus 5 3} + \mu_{вi\oplus 5 4}; \\ \mu_{в\Sigma} &= \mu_{в1} + \mu_{в2} + \mu_{в3} + \mu_{в4} + \mu_{в5}. \end{aligned}$$

Для визначення імовірності проходження потоку повідомлень певного виду по каналах зв'язку інформаційного напрямку використовуємо вираз

$$P(t \leq T_{зад})_{вз} = 0,15P(t \leq T_{зад})_1 + 0,35P(t \leq T_{зад})_2 + 0,5P(t \leq T_{зад})_3, \quad (26)$$

де 0,15, 0,35, 0,5 – коефіцієнт, що визначає відносну важливість повідомлень певного пріоритету відносно загального обсягу повідомлень певного виду, визначеного відповідно до правила Фішберна;

Для визначення імовірності проходження повідомлень у задані терміни наступних пріоритетів необхідно попередньо виконати розрахунки еквівалентних характеристик за формулами (18 – 20).

Висновки

Запропонована удосконалена методика враховує основні фактори що впливають на ефективність функціонування інформаційного напрямку систем зв'язку військового призначення, особливості його побудови та функціонування і дозволяє визначити необхідні параметри та виразити їх через показник ефективності $P(T \leq T_{зад})$.

Список літератури

1. Цибизов А.А. Оценка эффективности сетей связи / А.А. Цибизов // Вісник РГРТУ. – Рязань : РГРТУ, 2009. – № 3 (29). – 148 с.
2. Акимова Г.П. Методология оцінки ефективності ієрархічних інформаційних систем / Г.П. Акимова, А.В. Соловьев, И.М. Янишевский. – М.: РАН, 2006. Труды ИСА РАН. Т. 23. – 500 с.
3. Основы построения систем и сетей передачи информации / [Ломовицкий В.В., Михайлов А.И., Шестак К.В., Щекотихин В.М.]; под ред. В.М. Щекотихина. – М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 382 с.
4. Блакитний А.І. Моделювання та оцінка ефективності систем зв'язку та РТО. / А.І. Блакитний., А.С. Бронницький - Моніно.: ВВА ім. Ю.А. Гагаріна., 1978. – 120 с.
5. Ясинецький В.П., Кас'яненко М.В. Оцінка ефективності системи зв'язку Повітряного командування // Труды університету. – К.: НУОУ, 2011 – № 106. – Ст. 46-52.
6. Фильчаков П.Ф. Справочник по высшей математике / П.Ф. Фильчаков. – К.: Наукова думка, 1974. – 743 с.
7. Корнышев Ю.Н. Теория распределения информации. Учебник для вузов связи / Ю.Н. Корнышев, Г.Л. Фань. – М.: Радио и связь, 1985. – 184 с.
8. Ивченко Г.И. Теория массового обслуживания: уч. пособ. для вузов / Г.И. Ивченко, В.А. Каштанов, И.Н. Коваленко. – М.: Высшая школа, 1982. – 256 с.

Надійшла до редколегії 11.09.2014

Рецензент: д-р техн. наук доц. М.А. Павленко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ НАПРАВЛЕНИЙ, КОТОРЫЕ ВКЛЮЧАЮТ РАЗНОРОДНЫЕ КАНАЛЫ С РАЗНОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ

М.В. Касьяненко, В.П. Ясинецкий

Предложена усовершенствованная методика оценки эффективности информационных направлений, которые включают S разнородных каналов с разной пропускной способностью, и позволяет учесть три самостоятельных, независимых и случайных процесса: старения информации, передачи сообщений и восстановления каналов связи вследствие их отказов по различным причинам.

Ключевые слова: система связи, эффективность информационных направлений системы связи, методика.

**AN IMPROVED METHODOLOGY OF ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF INFORMATION AREAS,
WHICH INCLUDE CO-DEPENDENT CHANNELS WITH VARYING BANDWIDTH**

M.V. Kasianenko, V.P. Yasynetskiï

This work proposes an improved methodology of assessing the effectiveness of information areas, which include S dissimilar channels with varying bandwidth. This technique also allows to take into account three separate, independent and random processes such as aging information, sending messages and restoring channels of communication in consequence of their failure due to different reasons.

Keywords: *communication system, the effectiveness of the communication system, methodology (technique, method).*