

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ МОБІЛЬНИХ ВУЗЛІВ ПРОФЕСІЙНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

Сайко В. Г. Математична модель функціонування мобільних вузлів професійного радіозв'язку. Приведена математична модель функціонування радіозасобів мобільного вузла радіозв'язку з урахуванням зміни параметрів антено-фідерних трактів, яка дозволяє робити оцінку і вибір оптимального способу побудови їх антенних трактів.

Ключові слова: РАДІОЗВ'ЯЗОК, МОБІЛЬНИЙ ВУЗОЛ, АНТЕННО-ФІДЕРНИЙ ТРАКТ.

Сайко В. Г. Математическая модель функционирования мобильных узлов профессиональной радиосвязи. Приведена математическая модель функционирования радиосредств мобильного узла радиосвязи с учетом изменения параметров антенно-фидерных трактов, которая позволяет делать оценку и выбор оптимального способа построения их антенных трактов.

Ключевые слова: РАДИОСВЯЗЬ, МОБИЛЬНЫЙ УЗЕЛ, АНТЕННО-ФИДЕРНИЙ ТРАКТ

Sayko V. G. Mathematical model of functioning of the mobile units of professional radio communication. The mathematical model of the radio means mobile radio unit to the changing parameters of antenna-feeder paths, which allows the evaluation and selection of the optimal method of construction of antenna paths.

Key words: RADIO COMMUNICATION, MOBILE UNITS, ANTENNA-FEEDING PATH

Постановка задачі. Математична модель, яка розробляється, повинна відповідати прийнятому алгоритму взаємодії абонентських радіозасобів (АР) мобільної системи радіозв'язку (МСР) між собою та кількісно відображати вплив характеристик процесів встановлення і ведення зв'язку на кінцевий підсумок функціонування мобільного вузла радіозв'язку (МВР) – передачу повідомлень між абонентами.

Вибір частот обміну. Передача повідомлень у радіонапрямку можлива у тому випадку, коли є вільні для зв'язку частоти і під час передачі на вибраній частоті в кожній із них виконується умова:

$$\frac{U_c}{U_n} \geq n_{дон}, \quad (1)$$

де $n_{дон}$ – припустиме значення енергетичного потенціалу радіолінії, яке визначається вимогами до достовірності повідомлень при вибраному виді сигналів [1]; U_c, U_n – середньоквадратичні значення рівня сигналу і взаємної завади, відповідно.

У випадку, коли одна і та ж частота зайнята одночасно декількома АР, які працюють у різних радіонапрямках, умова (1) для деяких з них може не виконуватись. Тому АР, для яких умова (1) неприпустима, будуть вимушені перейти на інші, вільні від взаємних завад частоти. Такий процес умовно будемо називати “виштовхуванням” АР з вибраної для зв'язку частоти. При цьому приймається [2], що в кожний момент часу будь-яка i -та частота f_i з групи N рівнодоступних частот $i \in N$ може бути зайнята тільки однією АР ініціатором зв'язку (АР-ІЗ). В свою чергу, АР-ІЗ може бути “виштовхана” з цієї частоти також тільки однією АР.

Стан зайнятості робочих частот й виштовхування АР з вибраної частоти у відповідні періоди, вибору частоти для зв'язку та подальшій роботі на ній будуть характеризуватися можливостями [2]: зайнятості будь-якої частоти f_i при встановленні зв'язку АР $P_{зан.}$; виштовхування АР з вибраної частоти f_i будь-якої іншої АР $P_{вум.}$; зайнятості усіх робочих частот, яка обумовлена навантаженням у системі і кількістю виділених частот P_f ; вимушеного переходу з однією частоти на іншу $P_{неpf}$.

При функціонуванні абонентських радіостанцій на групі виділених частот АР-ІЗ може передавати повідомлення іншому кореспонденту даної абонентської групи (АГ) з імовірністю $P_{неpf}$. В деякі випадкові моменти часу в АГ можуть бути у наявності абсолютно вільні частоти, тобто частоти на яких не працює не одна АР. Можливість такого випадку дорівнює $(1-P_f)$. Якщо з імовірністю P_f таких частот немає, то АР-ІЗ з імовірністю $P_{зан.}$ вибирає вигідну для зв'язку частоту f_i із числа частот, які вже використовуються по енергетичній ознаці зайнятості. Вибравши частоту f_i , АР-ІЗ з імовірністю $P_{вум}$ передає на

ній повідомлення, якщо з імовірністю $P_{вум}$ не буде виштовхана з цієї частоти АР іншої радіостанції даної АГ, яка працює на цій же частоті f_i .

Виходячи з розглянутої групи подій формулу для розрахунку $P_{неpf}$ запишемо так:

$$P_{неpf} = 1 - P_f (1 - \bar{P}_{зан} \times \bar{P}_{вум}) = P_f (1 - \bar{P}_{пер}), \quad (2)$$

де $P_{пер}$ – імовірність “переходу” з однієї довільно взятої із групи частоти f_i .

Для визначення імовірностей $P_{зан.}$, $P_{вум.}$ та P_f в (2) приймаються наступні передумови:

- радіозв’язок між АР системи забезпечується на довжині прямої видимості;
- потужність передавачів АР незмінні у процесі роботи та однакові для усіх радіостанцій МСР;
- приймачі АР мають ідеальні характеристики багатосигнальної вибірковості, тобто розглядаються як лінійні приймачі;
- період роботи системи відповідає годині найбільшого навантаження.

Математичні моделі. Для математичного опису процесу одержання частоти і визначення математичного запису імовірності $P_{зан}$ у якості ознаки зайнятості кожної робочої частоти вибрана енергетична ознака [1, 2].

При цьому задається деякий припустимий (пороговий) рівень завад U_{n0} , який визначає зайнятість цієї частоти. АР-ІЗ, який знаходиться у точці О на території площиною S_0 (рис. 1) в результаті аналізу завадової обстановки на N частотах, вибирає для зв’язку одну з частот на якій $U_n < U_{n0}$. Встановивши зв’язок з АР-К, яка знаходиться на відстані R_0 у межах території S_0 , АР-ІЗ утворює навколо себе на частоті f_i зону зайнятості R_{n0} . Отже у будь-якій точці зони зайнятості рівень заважаючого сигналу від АР-ІЗ перевищує значення порога U_{n0} . Цей сигнал буде завадою для інших радіостанцій, які знаходяться у черговому прийомі або намагаються встановити зв’язок зі своїми кореспондентами на даній частоті. Поза зоною зайнятості можливе повторне використання частоти f_i , яка зайнята АР-ІЗ.

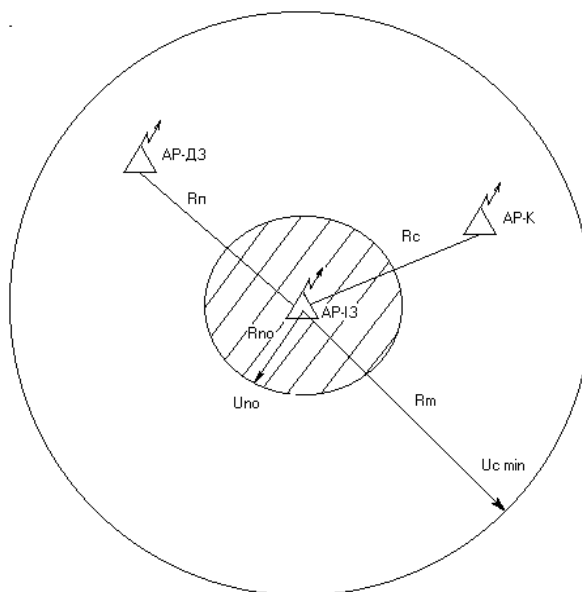


Рис. 1. Модель функціонування радіозасобів мобільної мережі

Випадковий характер енергетичних співвідношень сигналів та взаємних полосових завад у каналах радіозв’язку визначається в цій ситуації виключно просторовим розташуванням АР. При цьому АР джерела завад (АР-ДЗ) по відношенню до АР-ІЗ може знаходитися на відстані R_n , на менш ніж R_{n0} . Виходячи з події енергетичної зайнятості частоти можна охарактеризувати імовірність зайнятості $P_{зан}$ аналізованої частоти:

$$P_{зан} = \int_{R_{n\min}}^{R_{n0}} W(R_n) dR_n, \quad \text{де } W(R_n) \text{ – щільність розподілу відстані між АР-ІЗ та АР-ДЗ;}$$

$R_{n\min}$ – мінімальна відстань між АР-ІЗ та АР-ДЗ; R_n - відстань між АР-ІЗ та АР-ДЗ.

Виходячи з групи описаних подій процесу встановлення зв’язку, формулу для визначення імовірності $P_{зан}$ можна записати у вигляді:

$$P_{зан} = 1 - \int_{R_{n\min}}^{R_{n0}} W(R_n) dR_n = \int_{R_{n0}}^{R_{n\max}} W(R_n) dR_n, \quad (3)$$

де $R_{n\max}$ – максимальна відстань між АР-ІЗ та АР-ДЗ.

При встановленні у всіх АР порога U_{n0} , який дорівнює ЕА приймача, вихід у “ефір” на будь-якій частоті f_i будь-якої з АР системи не дозволить використати її іншими АР у межах радіуса R_{max} , який відповідає максимальній дальності зв’язку для АР-ІЗ. У цьому випадку імовірність $P_{зан} = 1$.

По мірі збільшення порога U_{n0} відносно рівня ЕА зона зайнятості звужується ($R_{n0} < R_{max}$) і імовірність $P_{зан}$ зменшується. При цьому повертає кількість АР, які знаходяться зовні цієї зони і оцінюють частоту f_i як вільну. Встановлюючи на ній радіозв’язок АР створюють взаємні полосні завади працюючій на цих частоті АР-ІЗ і виштовхують останню з частоти f_i . Імовірність цього може бути визначена як:

$$P_{вум} = P \left\{ \frac{R_n}{\sqrt{n_{дон}}} \sqrt{\frac{A_C}{A_{II}}} \leq R_C \right\}, \quad (4)$$

де A_C, A_{II} – характеризують параметри АФТ і при зв’язку землею хвилею мають вид [2, 3]:

$$U_C = A_C \times R_C^{-2}, \quad U_{II} = A_{II} \times R_{II}^{-2}, \quad \text{де } A_C = \sqrt{P_{C1} G_{C1} G_{C2} \eta_{C2} \eta_{C1}} \sqrt{h_{C0}^2 \sqrt{h_{C2}^2 + h_{C0}^2}};$$

$A_{II} = \sqrt{P_{II1} G_{II1} G_{II2} \eta_{II2} \eta_{II1}} \sqrt{h_{II1}^2 + h_{II0}^2} \sqrt{h_{II2}^2 + h_{II0}^2}$; $G_{C1}, G_{C2} (G_{II1}, G_{II2})$ – відповідно, коефіцієнти підсилення передавальної та приймальної антен АР-ІЗ (АР-ДЗ); .. $\eta_{C2}, \eta_{C1} (\eta_{II2}, \eta_{II1})$ – відповідно, коефіцієнти корисної дії системи передачі енергії від передавача до передавальної антени і від приймальної антени до приймача АР-ІЗ (АР-ДЗ); $h_{C1}, h_{C2}, h_{C0} (h_{II1}, h_{II2}, h_{II0})$ – відповідно, висоти передаючої та приймальної антен та мінімальна ефективна висота антени АР-ІЗ (АР-ДЗ).

Так як АР-К може знаходитись на будь якій відстані R_c від АР-ІЗ у межах території S_0 , то при звісній щільності розподілу $W(R_c)$ рівнів сигналу, визначених в межах значень $R_{cmin} \dots R_{cmax}$ формулу (4) можна записати у вигляді [4]:

$$P_{вум} = \int_{R_{cmin}}^{R_{cmax}} W(R_c) P \left\{ \frac{R_n}{\sqrt{n_{дон}}} \sqrt{\frac{A_C}{A_{II}}} \leq R_C \right\} dR_c, \quad (5)$$

де R_{cmin}, R_{cmax} – мінімальна і максимальна відстань між АР-ІЗ та АР-К.

З урахуванням того, що R_n не може бути менше R_{n0} і $G_{C2} = G_{II2}, \eta_{II1} = \eta_{II2} = 1, G_{C1} = G_{C1}, G_{II1} = G_{II1}$, формула (5) прийме вид:

$$P_{вум} = \int_{R_{cmin}}^{R_{cmax}} W(R_c) P \left\{ R_{n0} \leq R_{II} \leq R_C \sqrt{n_{дон}} B \right\} dR_c,$$

де $B = \sqrt{\frac{G_{II}}{G_C}}. \quad (6)$

Визначимо межі зміни взаємних віддалень та параметрів АФТ АР, які визначають “виштовхування” АР-ІЗ з частоти (рис. 2):

– в області зміни взаємних віддалень

$$\frac{R_{II0}}{\sqrt{n_{дон}} B} \dots \frac{R_{max}}{\sqrt{n_{дон}} B}$$

частоти f_i будь-якою завадою, видалення джерела якої знаходиться в інтервалі

$$R_{II0} \dots R_C \sqrt{n_{дон}} B;$$

– в області зміни взаємних віддалень

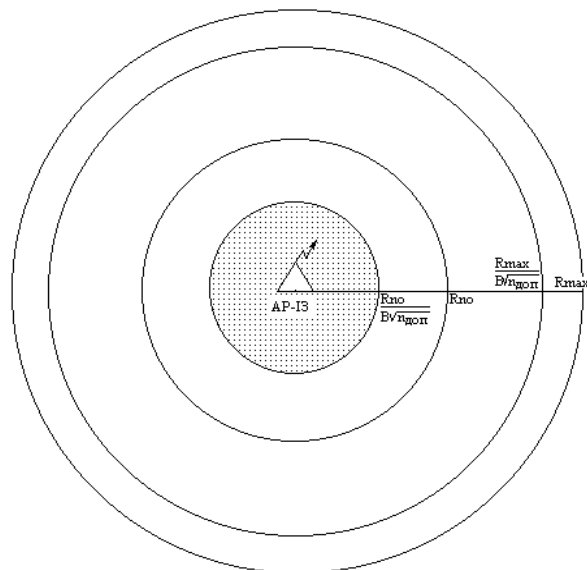


Рис. 2. Межі змін взаємних віддалень та параметрів АФТ АР

$R_{\max} \dots \frac{R_{\max}}{\sqrt{n_{\text{дон}} B}}$ АР-ІЗ буде “виштовхана” з частоти f_i будь-якою завадою, видалення джерела якої знаходиться в інтервалі $R_{I0} \dots R_{\max}$;

– оскільки в області зміни взаємних віддалень $\frac{R_{\max}}{\sqrt{n_{\text{дон}} B}} \dots R_{C\min}$ у відповідності з

прийнятим признаком зайнятості частоти ні одне АР не може зайняти частоту f_i , вже задіяну АР-ІЗ, то процес виштовхування тут не відбувається і $P_{\text{вум}} = 0$.

З урахуванням областей формула (6) перетворюється до виду:

$$P_{\text{вум}} = \int_{B_{\min}}^{B_{\max}} W(B) \left\{ \int_{\frac{R_{\max} C_1}{\sqrt{n_{\text{дон}} B}}}^{R_{\max}} W(R_C) \left[\int_{R_{n0}}^{R_{\max}} W(R_n) dR_n \right] dR_C \right\} dR_B + \int_{B_{\min}}^{B_{\max}} W(B) \left\{ \int_{\frac{R_{n0} C_1}{\sqrt{n_{\text{дон}} B}}}^{\frac{R_{\max} C_1}{\sqrt{n_{\text{дон}} B}}} W(R_C) \left[\int_{R_{n0}}^{\frac{R_C B \sqrt{n_{\text{дон}}}}{C_1}} W(R_n) dR_n \right] dR_C \right\} dR_B, \quad (7)$$

де $C_1 = \sqrt[4]{\eta_C}$; B_{\max}, B_{\min} – максимальне і мінімальне відношення зміни коефіцієнта підсилення АР-ІЗ.

Після підстановки (4) та (6) в (2) з урахуванням $R_{\min}, R_{n\max} = R_{C\max} = R_{\max}$ отримаємо формулу для розрахунку імовірності передачі повідомлення на частоті [4, 5]:

$$\bar{P} = \int_{R_{n0}}^{R_{\max}} W(R_n) dR_n \left(1 - \left(\int_{B_{\min}}^{B_{\max}} W(B) \left\{ \int_{\frac{R_{\max} C_1}{\sqrt{n_{\text{дон}} B}}}^{R_{\max}} W(R_C) \left[\int_{R_{n0}}^{R_{\max}} W(R_n) dR_n \right] dR_C \right\} dR_B + \int_{B_{\min}}^{B_{\max}} W(B) \left\{ \int_{\frac{R_{n0} C_1}{\sqrt{n_{\text{дон}} B}}}^{\frac{R_{\max} C_1}{\sqrt{n_{\text{дон}} B}}} W(R_C) \left[\int_{R_{n0}}^{\frac{R_C B \sqrt{n_{\text{дон}}}}{C_1}} W(R_n) dR_n \right] dR_C \right\} dR_B \right) \right) \quad (8)$$

Основна причина, яка обумовлює облік змін параметрів АФТ у розробленій моделі, являється ряд факторів. Зокрема, кожна АР, яка встановлюється в МВР, потребує для роботи одну, а інколи і декілька антен. При сучасному погляді на комплектацію ПКР радіозасобами кількість антен може доходити до 7-8 одиниць [5]. Така кількість антен на обмеженій площі пересувного об'єкту нормально функціонувати не може із-за взаємного скривлення їх діаграм направленості. В залежності від режиму настройки можуть відбуватися як послаблення, так і підсилення випромінювання сигналів.

Експериментальні дослідження. Результати експериментальних досліджень ефектів взаємного впливу антен показують, що при “випадкових” настройках радіозасобу МВР можуть виникнути “провали” в їх діаграмах направленості, які можуть досягати 12...14 дБ [6]. Дані фактори обумовлюють необхідність враховувати в математичній моделі зміну параметрів АФТ. Для кількісної оцінки впливу параметрів АФТ на функціонування МВР необхідне знання щільностей імовірностей $W(B)$, $W(R_C)$ та $W(R_n)$. Питання вибору виду щільності розподілу взаємних відстаней між АР більш детально розглянутий в [2, 7].

Визначення щільності розподілу ймовірності $W(B)$ потребує статистичної обробки даних змін АФТ МВР [5, 6].

Графіки залежностей (8) для імовірностей $P_{\text{зан}}$, $P_{\text{вум}}$ та $P_{\text{пер}}$ при фіксованих значеннях параметру B для будь-яких значень $n_{\text{дон}}$ і B при рівноімовірному законі розподілу

розміщення АР на місцевості показані на рис. 3. Як видно з наданих рисунків, графіки функції $\bar{P}_{пер1}$ мають оптимальне значення по α . Підвищення вимог до достовірності передаваних повідомлень ($n_{дон} > 1$) приводить до збільшення оптимального значення α . Але при тому самому значенні $n_{дон}$ в залежності від параметра B буде мати місце різне α_{opt} . Іншими словами, в МВР α_{opt} змінюється як від $n_{дон}$, так і від параметра B . При цьому збільшення $n_{дон}$ та B зменшує оптимальне значення імовірності $\bar{P}_{пер1}$, і відповідно, обмежує можливість одночасного використання частоти f_i декількома АР; зменшення α відносно оптимального значення α_{opt} зменшує імовірність $\bar{P}_{пер1}$ за рахунок збільшення числа АР, одночасно використовуючих частоту f_i для зв'язку, і, відповідно, збільшує імовірність виштовхування з цієї частоти; збільшення α відносно α_{opt} зменшує імовірність $\bar{P}_{пер1}$ оскільки менша кількість АР оцінюють частоту f_i як вільну і займають її для зв'язку.

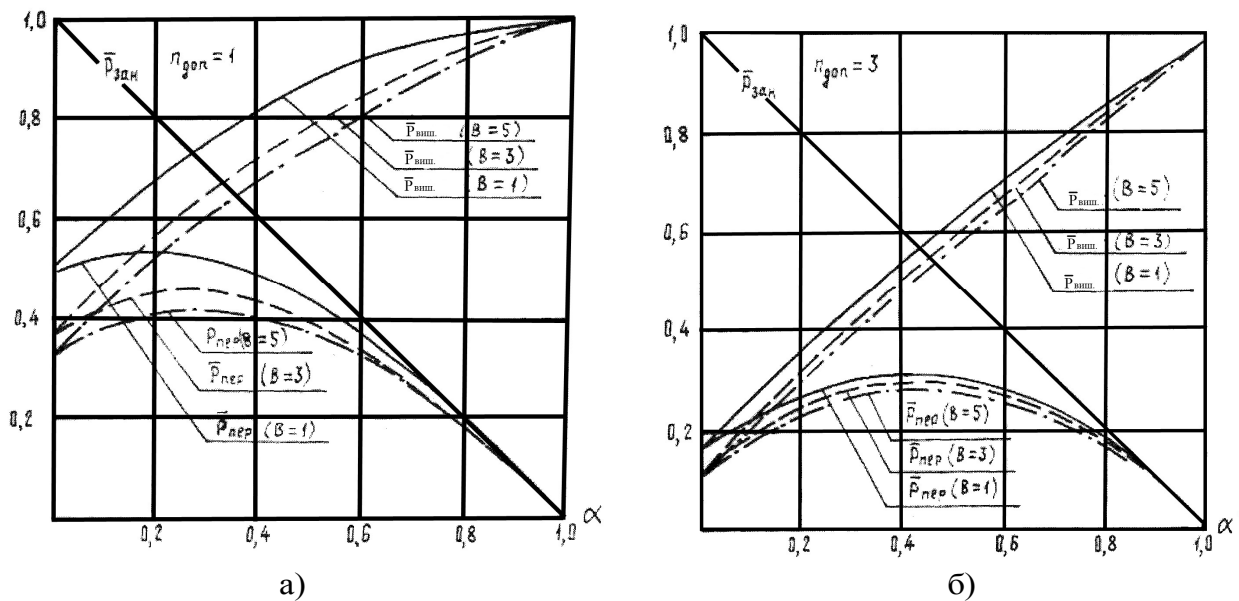


Рис. 3. Результати розрахунку імовірнісних характеристик при $n_{дон} = 1$ (а), та при $n_{дон} = 3$ (б)

Висновок. Таким чином, розроблена математична модель дозволяє робити оцінку та вибір оптимально способу побудови АФТ мобільного вузла зв'язку.

Література

1. Виноградов Н. М. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств / Н. М. Виноградов, В. И. Винокуров. – Л.: Судостроение, 1986. – 255 с.
2. Доровских А. В. Сети связи с подвижными объектами / А. В. Доровских, А. Л. Сикарев. – К.: Техніка, 1989. – 160 с.
3. Долуханов М. П. Распространение радиоволн / М. П. Долуханов. – М.: Связь, 1972. – 336 с.
4. Сайко В. Г. Математическая модель оценки эффективности УКВ линии радиосвязи / В. Г. Сайко // НТС КВИУС. – 1990. – №11. – 91-92 с.
5. Сайко В. Г. Методика оценки влияния характеристик АФТ на эффективность системы радиосвязи / В. Г. Сайко, С. Г. Пасечник // 17 Воен. Научно-техническая конференция: тезисы докладов. – К.: КВВИУС, 1991. – 72 с.
6. Организация и проведение сравнительных испытаний штыревых антенн типа АШ-3, АУП. – Уральск: в/ч 74863. – 1981. – 25 с.
7. Сайко В. Г. Оценка эффективности функционирования подвижного комплекса радиосвязи / В. Г. Сайко, С. Г. Пасечник // Электроника и связь. – 1996. – №1. – С. 123-130.