

# ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ СПІЛЬНОЇ РОБОТИ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

Шостко І.С., Олизаренко В.А.

Кафедра «Інфокомунікаційної інженерії  
ім. В.В. Поповського», ХНУРЕ, Україна

E-mail: [ihor.shostko@nure.ua](mailto:ihor.shostko@nure.ua)

E-mail: [viacheslav.olizarenko@nure.ua](mailto:viacheslav.olizarenko@nure.ua)

---

## Abstract

*A method for managing the energy balance of the nodes of wireless sensor fences has been further developed, a feature of which is taking into account the dependence of the coefficient of automatic regulation of strength in the radio receiver and automatic regulation of the pressure in the radio transmitter on the given reliability of message transmission and characteristics of the radio channel. As a result of the action of the automatic regulation of the strength in the radio receiver, the likelihood of electro-magnetic confusion increases due to a decrease in the average number of interfering signals penetrating the output of the radio receiver. If the automatic regulation of the hardening leads only to a coarsening of the radio receiver, and the electromagnetic environment does not change significantly, then the use of automatic regulation of the strain in the radio transmitter should lead to a decrease in the intensity of electromagnetic fields.*

---

## Вступ

У разі одночасної роботи безлічі безпроводових сенсорних мереж (БСМ) та радіоелектронних засобів (РЕЗ) зосереджених на одній території (завод, підприємство, установа, багатоквартирний житловий будинок), що використовують один і той же частотний ресурс 2,4 ГГц потрібно вирішувати завдання електромагнітної сумісності (ЕМС) з урахуванням вимог щодо збереження енергоресурсу досліджуваної БСМ.

Просторові параметри електромагнітної перешкоди характеризуються утворенням «зони мішання». Під «зоною мішання» розуміють область простору, в межах якої рівень енергії і частотний спектр випромінюваного технічним засобом (ТЗ) електромагнітного поля не дозволяє одночасно використовувати інші ТЗ без зниження якості їх функціонування. Розміри «зони мішання» залежать від смуги частот, в якій генерується поле, його енергетичного рівня, а також способу його випромінювання і навколишніх умов поширення. Відповідно, об'єкти треба розмістити в просторі таким чином, щоб їх «зони мішання» не перетиналися. З цією метою потрібно визначитися з принципами адаптивного управління автоматичного регулювання посиленням (АРПг) в радіоприймачах і автоматичного регулювання потужності (АРПт) в радіопередавачах пристроїв БСМ.

## Сутність

Проаналізуємо підвищення ефективності використання електромагнітного ресурсу (ЕМР) за рахунок адаптації в одній з БСМ. У ній функціонує безліч пристроїв, з'єднаних між собою радіолініями двостороннього зв'язку. Розглянемо поки одну радіолінію, яка утворена: кінцевим пристроєм (КП) і маршрутизатором (МП). У кожному пристрою використовуються приймач РП<sub>дП</sub> (КП) і РП<sub>рП</sub> (КП), РП<sub>рП</sub> (МП) і РП<sub>дП</sub> (МП). Для всіх пристроїв БСМ порогова потужність прийому радіоприймальних пристроїв (РП<sub>рП</sub>) і максимальна потужність випромінювання радіопередавальних пристроїв (РП<sub>дП</sub>) однакові.

На рис. 1 зображена структурна схема радіолінії двостороннього зв'язку, що складається з двох модулів БСМ: РП<sub>дП</sub> (МП) – РП<sub>рП</sub> (КП) і РП<sub>дП</sub> (КП) – РП<sub>рП</sub> (МП). На схемі позначені

параметри:  $P_{tМП}$  – потужність випромінювання передавача МП;  $P_{porМП}$  – порогова чутливість приймача МП; параметр – дальність радіозв'язку;  $P_{tКП}$  і  $P_{porКП}$  – відповідні параметри КП.

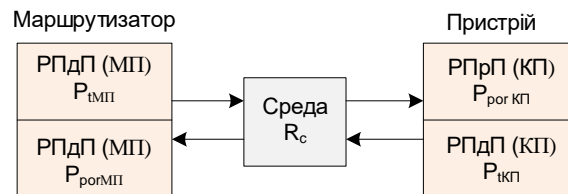


Рис. 1. Схема радіолінії двостороннього зв'язку

Параметр  $R_c$  приймає значення від  $R_{min}$  – найменшій допустимий дальності зближення приймача і передавача пристроїв КП і МП до  $R_{max}$  – максимальної дальності дії:

$$R_{min} \leq R_c \leq R_{max}.$$

У радіолінії двостороннього зв'язку потрібно дотримуватися енергетичного балансу

$$P_{tМП} P_{porМП} = P_{tКП} P_{porКП}. \quad (1)$$

Існує, таким чином, енергетичний резерв, який може використовуватися при адаптації в інтересах кращого забезпечення EMC. При дальності, меншою максимально, допустимим за grubinня приймача, тобто збільшення  $P_{porКП}$  або  $P_{porМП}$ , або зниження потужності випромінювання  $P_{tКП}$  або  $P_{tМП}$ . Це повинно робитися так, щоб виконувалося співвідношення (1). Таким чином, при адаптації потрібно змінювати як мінімум два параметри.

Детермінована модель радіоприймача. Припустимо, що в РПрП реалізована ідеальна амплітудна характеристика, тобто  $P_{вих} = P_{ових} = \text{const}$  в усьому динамічному діапазоні вхідних сигналів  $P_{por} \leq P_r \leq P_{max}$ . Таким чином, РПрП представляємо як пристрій з потужністю порогового сигналу,  $P_{por}$ , розрахований на прийом сигналів, що не перевищують  $P_{max}$ .

Статистична оцінка порогової потужності радіоприймача. Для оцінки ефективності АРПг в РПрП (КП) скористаємося моделлю БСМ з топологією зірка.

У центрі БСМ знаходиться МП, а КП може установлюватися стаціонарно або на рухомому об'єкті. Відстань від КП до центру МП – величина випадкова. Отже, на вході РПрП (КП) буде діяти сигнал випадкової потужності:

$$P_r = P_t \cdot A \cdot R_c^{-2} K_{осл}, \quad (2)$$

де  $P_t$  – потужність передавача МП;  $A = G_t A_r / 4\pi$ ;

$K_{осл}$  – коефіцієнт ослаблення сигналу між приймачем і передавачем.

Випадковими параметрами в (2) є відстань  $R_c$  ( $R_{min} \leq R_c \leq R_{max}$ ) і коефіцієнт  $K_{осл}$ . Нехай в БСМ працює один канал: РПдП(МП) – РПрП(КП). Вважаємо для простоти АРПг в РПрП (КП) має ідеальну характеристику. На вході РПрП (КП) потужність  $P_r$  буде приймати випадкові значення в діапазоні від  $P_{por} = P_t \cdot A \cdot R_{max}^{-2} K_{осл}$  до  $P_{max} = P_t \cdot A \cdot R_{min}^{-2} K_{осл}$ . Завдяки ідеальній АРП у всьому діапазоні відстаней забезпечується постійне значення потужності  $P_0$ .

Місцезнаходження КП всередині БСМ вважаємо рівномірності по всій її площі. Тоді щільність ймовірності випадкової величини  $R_c$  [2]:

$$\rho(R_c) = \frac{2R_c}{R_{max}^2 - R_{min}^2}, \quad R_{min} \leq R_c \leq R_{max}. \quad (3)$$

У міських умовах або на пересіченій місцевості випадковою величиною є також коефіцієнт ослаблення сигналу  $K_{осл}$  в (2). До теперішнього часу, спираючись на ґрунтовну наукову оцінку [1], можна дати лише приблизну оцінку  $\rho(K_{осл})$  або експериментально оцінити  $K_{осл}$  для конкретних умов.

Формула (2) пов'язує потужність  $P_r$  сигналу на вході приймача і випадкові параметри  $R_c$  і  $K_{осл}$ . Це дозволяє шляхом функціонального перетворення розподілу (3) з урахуванням (2) і при наявності імовірнісного розподілу  $\rho(K_{осл})$  отримати розподіл за допомогою якого відомим способом [2] розраховується середнє значення потужності сигналу  $P_{rcp}$ . При ідеальній, за рахунок АРП, амплітудної характеристиці РПрП (КП) значення  $P_{rcp}$  може бути прийнято в якості середньої порогової потужності прийому.

Оскільки в нашому розпорядженні немає імовірнісного розподілу  $\rho(K_{осл})$ , то можна розраховувати  $\rho(P_r)$  при постійних значеннях  $K_{осл}$ , що міняються від 0 до 1 залежно від висоти розташування елементів БСМ, рельєфу місцевості або забудови. Зокрема, для відкритого простору прийемо  $K_{осл} = 1$ . Тоді згідно [2] при великому динамічному діапазоні сигналів, коли  $P_{max} \gg P_{por}$  маємо

$$\rho(P_r) = \frac{P_{por}}{P_r^2}, \quad P_{por} \leq P_r \leq P_{max}.$$

Відповідно середнє значення порога потужності прийому при роботі АРП визначається з виразу:

$$P_{rcp} = P_{por} \ln(P_{max}/P_{por}). \quad (4)$$

Визначимо для умов відкритого простору ( $K_{осл} = 1$ ) відносне збільшення при ідеальній АРП порога потужності прийому  $P_{rcp}/P_{por}$  радіоприймача, якщо дальність  $R_c$  змінюється в діапазоні від  $R_{min}=10$  м. до  $R_{max}=1$  км. Динамічний діапазон вхідних сигналів

$$P_{max}/P_{por} = \frac{P_t \cdot A \cdot R_{min}^{-2}}{P_t \cdot A \cdot R_{max}^{-2}} = \frac{R_{max}^2}{R_{min}^2} = 10^4.$$

За допомогою (4) отримаємо

$$P_{rcp}/P_{por} = \ln 10^4 \approx 9,2.$$

Радіоперешкоди. Сукупність перешкод на вході РПрП розділимо на дві групи: перешкоди, що залежать від топології і просторового розташування елементів БСМ, і перешкоди від цього не залежать. На вході РПрП діятимуть перешкоди, внутрішні і зовнішні, сумарна потужність яких дорівнює  $P_{ш}$ . Крім того, в разі одночасної роботи безлічі незалежних БСМ і інших РЕЗ зосереджених на одній території утворюється додатково специфічна перешкода в результаті багаторазового використання співпадаючих з налаштування радіоканалів. Назвемо її мережеві радіоперешкоди (МРП), потужність якої  $P_{МРП}$ . Таким чином, на вході РПрП (КП) будуть діяти перешкоди потужністю

$$P_{\Pi} = P_{ш} + P_{МРП}. \quad (5)$$

Як було показано вище для кожного елемента БСМ здійснюється селекція по дальності. Встановлюємо мінімальну відстань  $D$  між КП сусідніх БСМ:

$$D = R_{max} \sqrt{2}.$$

З збільшенням дальності між КП сусідніх БСМ умови поширення радіохвиль різко погіршуються і якщо дальність  $R$  перевищить граничне значення  $D_{\text{пр}}$  [3], то впливом перешкоди можна знехтувати.

Потужність МРП можна розрахувати за формулою (2). Потужність, що прийнята антеною РПрП в моделі вільного простору визначається виразом:

$$P_{\text{МРП}}(D_{\text{пр}}) = P_t \cdot A \cdot D_{\text{пр}}^{-2} K_{\text{осл}}.$$

Зміна рівня  $P_{\Pi}$  на великих відстанях на пересіченій місцевості і наявності великих об'єктів в навколишньому середовищі є причиною того, що два різних приймача, рівновіддалених від передавача, приймають переданий сигнал з різною потужністю. Затінення може бути представлено як додатковий випадковий компонент, доданий до втрат на трасі, і таким чином ефективні втрати на трасі на заданій відстані від передавача випадкові.

Проведемо оцінку застосування автоматичного регулювання потужності і автоматичного регулювання посилення в БСМ. Нехай радіолінія має найбільшу протяжність  $R_{\text{max}}$ . При цьому забезпечується робота з максимальною чутливістю РПрП, тобто з пороговим рівнем потужності  $P_{\text{por}}$ . У цьому випадку на вихід РПрП через задіяні канали будуть проникати сигнали, що заважають. Припустимо, що відомий розподіл щільності ймовірності потужності перешкод  $\rho(P_{\Pi})$  на вході РПрП.

Динамічний діапазон перешкод будемо вважати таким же, як динамічний діапазон приймача, і  $P_{\text{por}} = P_{\Pi \text{min}}$ ,  $P_{\text{max}} = P_{\Pi \text{max}}$ .

Якщо робота ведеться на дальності  $R \leq R_{\text{max}}$  то спрацьовує АРП і встановлюється змінний поріг по корисному сигналу, середнє значення якого по потужності  $P_{\text{por}}^* = P_{\text{ср}}$ . За рахунок закругіння приймача при незмінній електромагнітній обстановці середнє число проникаючих на вихід сигналів, що заважають стане менше, ніж при максимальній чутливості.

Якщо в результаті дії АРП в РПрП збільшується  $P_{\text{por}}$ , то автоматично потрібно збільшити потужність випромінювання РПрП до рівня, що забезпечує задану достовірність передачі повідомлень.

## Висновки

Розроблено алгоритм управління АРПг в РПрП і АРПт в РПрП [4]. В результаті дії АРПг в РПрП зростає ймовірність EMC завдяки зменшенню середнього числа проникаючих на вихід РПрП сигналів, що заважають. Якщо АРПг призводить лише до закругіння РПрП, а електромагнітна обстановка при цьому істотно не змінюється, то застосування АРПт в РПрП має привести до зменшення інтенсивності електромагнітних полів.

## Література:

1. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В. М. Вишневикий, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. – Москва : Техносфера, 2005. – 592 с..
2. Аповорич А. Ф. Статистическая теория электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / А. Ф. Аповорич. – Минск : Наука и техника, 1984. – 215 с.
3. Песков С. Н. Расчёт вероятности ошибки в цифровых каналах связи / С. Н. Песков, А. Е. Ищенко // Теле-Спутник. – 2010. – № 11 (181). – С. 70–75.
4. Shostko I. Proposals for the Integration of Various Wireless Sensor Networks / Igor Shostko, Julia Sosedka // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science : proceedings of the International Conference TCSET'2014, February 25 – March 1, 2014, Lviv – Slavske, Ukraine, 2014. – Lviv, 2014. – P. 444–445.