

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ НА ЕТАПІ ПРОЕКТУВАННЯ МОБІЛЬНОЇ СТІЛЬНИКОВОЇ МЕРЕЖІ

О. В. Каніманюк, асп. (НТУУ «КПІ»)

Рассмотрены особенности проектирования мобильной сотовой связи с учетом экологических показателей. Определены основные показатели, влияющие на качество связи.

Ключевые слова: экологическая безопасность, проектирование, мобильная связь, показатели, электромагнитное излучение, экология.

Розглянуто особливості проектування мобільного стільникового зв'язку з урахуванням екологічних показників. Визначено основні показники, що впливають на якість зв'язку.

Ключові слова: екологічна безпека, проектування, мобільний зв'язок, показники, електромагнітне випромінювання, екологія.

Peculiarities of design of mobile cellular communications with account of environmental performance are presented. Basic indicators that effect on the quality of communication are defined.

Key words: environmental safety, design, mobile communications, performance, electric waves, ecology.

Вступ. Сьогодні більша частина населення земної кулі перебуває під впливом електромагнітних полів (ЕМП), які створюються лініями електропередач, побутовою технікою, комп'ютерами, обладнанням телекомунікації та ін. Природні електромагнітні поля займають певне місце в еволюції живої природи. Експериментально було встановлено, що найбільшу чутливість до ЕМП мають організми, причому чутливість тим більша, чим складніша організація біологічної системи. Електростатичне поле атмосфери впливає на формування біологічних ритмів живих організмів. Різкі коливання параметрів поля можуть привести до перебудови часової організації живих організмів, навіть до розвитку патологічних процесів [1]. Під впливом ЕМП відбуваються зміни в гематологічних параметрах крові тварин, а також в імунному статусі людини. ЕМП впливають на функції очей, активність мозку, на психіку людей [2–4].

За останні роки ринок стільникового мобільного зв'язку розвивався швидкими темпами. Кількість підключених абонентів на 1.01.2010 становила 55,53 млн чоловік. Рівень номінального проникнення стільникового зв'язку від загальної чисельності населення країни склав 120,2 %.

Абонентська база операторів мобільного зв'язку стандарту GSM становить 53,87 млн абонентів або 97,4 % від загальної абонентської бази стільникового мобільного зв'язку України, що на 0,37 млн чоловік менше, ніж у 2008 р. На операторів стільникового мобільного зв'язку стандарту CDMA припадає 1,04 млн абонентів або 1,9 % від загальної абонентської бази стільникового мобільного зв'язку України. Решта абонентів підключена до єдиної в Україні мережі в стандарті UMTS компанії «Укртелеком» [5].

Щоб забезпечити зв'язком таку кількість абонентів, операторам доводиться збільшувати кількість базових станцій (БС) або поліпшувати якість

зв'язку. Все це потрібно робити в короткі строки з мінімальними витратами і з урахуванням допустимих норм електромагнітного випромінювання, оскільки ЕМП впливають на активність мозку та психіку людини, розвиток організмів, призводять до виснаження адаптаційно-захисних організмів людини.

Мета роботи – визначення показників, які впливають на якість зв'язку, та врахування їх при проектуванні мобільного стільникового зв'язку для забезпечення мінімального впливу на біологічні організми.

Виклад основного матеріалу. Процес проектування стільникового мобільного зв'язку (СМЗ) можна розбити на чотири етапи: розрахунок радіопокриття території; розроблення територіально-частотного плану; підбір обладнання; експлуатація мережі.

На першому етапі проектування відбувається визначення максимального радіуса стільника, максимальної площі макростільника, число макростільників в зоні обслуговування, число стільників в кластері, число кластерів у зоні обслуговування.

На другому етапі проводиться розроблення територіально-частотного плану: розподіл частотних каналів по стільниках за принципом повторного використання частот, а також оцінка трафіку і ємності для характерних ділянок, стільника та мережі в цілому.

Якщо за якими-небудь показниками (якістю радіопокриття, трафіку, ємності) складена схема не відповідає заданим критеріям, проводиться повторне коригування.

Таким чином, процес проектування мережі є ітераційним.

На третьому етапі відбувається підбір обладнання, яке задовольняє умовам радіопокриття. На цьому етапі проводяться також експериментальні вимірювання рівнів електромагнітного поля (зазвичай щільності потоку потужності або напруженості електричного поля в різних точках від базових станцій), і за результатами вимірювань коригують схему мережі.

Остаточну якість проекту оцінюють вже на четвертому етапі експлуатації мережі, де також проводять коригування і доопрацювання мережі. Особливо це відноситься до початкового етапу експлуатації розгорнутої оператором мережі, коли реалізується настройка апаратури та оптимізація мережі. Цей етап є найбільш трудомістким.

На початковій стадії проектування СМЗ виникає необхідність знаходження оптимального співвідношення між ефективністю та складністю системи, що дозволяє визначити початкову конфігурацію мережі і план її подальшого розвитку. Ефективність досягається за рахунок забезпечення потрібної якості роботи всієї системи з мінімальними затратами на обладнання, оскільки ускладнення архітектури системи призводить до збільшення затрат на потрібне обладнання.

Встановлюються максимальні значення основних характеристик мережі: допустимого телефонного завантаження та частотно-територіального планування. Ці характеристики дозволяють отримати систему з заданою ймовірністю відмов у обслуговуванні рухомих абонентів мережі при заданій якості зв'язку.

Ефективності планування можна досягти за рахунок території покриття, розрахунку ємності мережі, планування передачі і оптимізації мережі.

При тривалій експлуатації стільникової мережі мають місце проблеми з перенасиченням території абонентами. Виникає момент, коли в окремих стільниках в час найбільшого навантаження має місце скупчення рухомих абонентів, навантаження на базову станцію стає максимальним і станція не справляється з усім об'ємом викликів, що надходять до неї. Абонентам надходять відмови в обслуговуванні. Внаслідок цього виникає "traffic handover" (передача управління викликом за критерієм навантаження). Але цю проблему не завжди можна розв'язати за допомогою процедури "handover" чи перерозподілу радіоканалів. Можна також змінити частотний план з повторним використанням частот, змінити ширину спектру каналу мережі і т.д. Однак сьогодні оператор не готовий до таких серйозних змін і змушений встановлювати додаткову базову станцію. Для цього потрібно зробити попередній розрахунок, задавши конкретні параметри базової станції і показники якості обслуговування, які влаштують абонента.

При цьому виникає питання про методи проектування. Можна використовувати поширені методи комп'ютерного аналізу і автоматичного проектування, що надаються виробниками обладнання для СМЗ. Однак не всі оператори можуть собі дозволити таку розкіш, особливо малі регіональні операторські компанії.

Попередній розрахунок базової станції на етапі експлуатації майже всі оператори виконують самостійно. Кожний оператор робить це по-різному, в більшості випадків, умовно, оскільки лише після вводу в експлуатацію нового обладнання базової станції збираються статистичні дані, проводиться корекція її параметрів. Це ускладнює роботу мережі і потребує певного часу для прийняття рішення.

Проектування СМЗ передбачає оптимальну побудову мережі за принципом: висока ефективність – мінімальна вартість [6]. Для досягнення цього при проектуванні мережі ставляться такі задачі:

- визначення місць установлення базових станцій;
- розподіл частотних каналів між стільниками;
- визначення числа користувачів за розрахованим трафіком;
- оптимізація мережі по критерію мінімізації числа стільників (мінімальної вартості розгортання мережі) і високої надійності зв'язку [7].

При значному збільшенні числа стільників (тобто зменшенні розміру стільника шляхом створення мікро- або пікостільників) збільшується надійність зв'язку, що приводить до поліпшення його якості (задане значення ймовірності помилки на біт), збільшення кількості абонентів, зменшення максимального значення вихідних потужностей мобільних станцій на краях стільників, що в свою чергу веде до зменшення рівнів електромагнітного опромінення користувачів. Однак при цьому збільшується вартість розгортання мережі і до певної міри її експлуатація.

У разі рідкого розташування стільників при великих максимальних радіусах стільників можуть з'явитися «мертві зони», в яких неможливо

здійснювати обслуговування абонентів. На краях стільників зростають потужності випромінювання мобільних телефонів, що приводить до збільшення рівнів електромагнітного опромінення абонентів.

Можна виділити такі основні параметри, які впливають на якість зв'язку і які треба враховувати при проектуванні мереж зв'язку:

параметри рельєфу місцевості (висота підвищень, протяжність лісових масивів, щільність забудови, матеріали, з яких будуються будинки);

кліматичні параметри (вологість повітря, середньорічна температура, атмосферний тиск);

існуюче радіопокриття території;

кількість абонентів;

допустиме телефонне навантаження;

параметри обладнання зв'язку (потужність випромінювання антен, порогова чутливість приймачів, максимальна кількість каналів, кількість каналів на несучу частоту, вид модуляції).

Визначення основних параметрів частотно-територіального планування.

1. Загальне число частотних каналів n_k в місті визначається за формулою

$$n_k = \text{int}(F/F_k),$$

де $\text{int}(F/F_k)$ – ціла частина числа; F – смуга частот, що виділяється для передачі сигналів БС до СМЗ в даному місті, МГц; F_k – смуга частот, що займає один частотний канал системи СМЗ, МГц.

2. Необхідний розмір кластерів $p(N)$:

$$p(N) = 100 \int_{\frac{(10 \lg(1/\beta_e) - \rho_0)}{\sigma_p}}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} \frac{dt}{\sqrt{2\pi}};$$

$$\beta_e = \left(\sum_{i=1}^{\ell} \beta_i \right) \exp \left[\frac{\gamma^2}{2} (\sigma^2 - \sigma_e^2) \right];$$

$$\sigma_e^2 = x_e^{-2} = \frac{1}{\gamma^2} \ln \left[1 + \left(e^{\gamma^2 \sigma^2} - 1 \right) \frac{\sum_{i=1}^{\ell} \beta_i^2}{\left(\sum_{i=1}^{\ell} \beta_i \right)^2} \right];$$

$$\sigma_p^2 = \sigma^2 + \sigma_i^2;$$

$$\gamma = (0,1 \ln(10)),$$

де ρ_0 – захисне відношення для приймача; t – час, с; β_i – коефіцієнт, що враховує медіанне значення затухання радіохвилі на i -у маршруті поширення перешкод; σ – параметр, що визначає діапазон випадкових флуктацій рівня приймаючого сигналу в місці прийому, дБ; для СМЗ $\sigma = 4 \dots 10$ дБ; P_t – відсоток

часу, впродовж якого допускається, що відношення сигнал/шум на вході приймача в мережі СМЗ менше, ніж захисне відношення ρ_0 .

Ця формула пов'язує розмір кластера та відсоток часу $p(N)$, протягом якого відношення сигнал/шум на вході приймача нижче від захисного відношення ρ_0 . Величини β_e і σ_p залежать від параметра $q = D/R_0 = \sqrt{3N}$, σ , M , де M – кількість секторів обслуговування в одному стільнику ($M = 1$ при $\theta = 360^\circ$; $M = 3$ при $\theta = 120^\circ$ і $M = 6$ при $\theta = 60^\circ$, де θ – ширина діаграм направленості антен базової станції); N – розмір кластера.

Величина $p(N)$ зменшується зі збільшенням N . Значення N , при якому виконується умова $P_t \geq p(N)$, приймається за розмір кластера мережі.

3. Кількість частотних каналів n_s , що використовуються для обслуговування абонентів в одному секторі одного стільника, визначається за формулою

$$n_s = \text{int}(n_k/MN).$$

4. Допустиме телефонне навантаження A в одному секторі одного стільника (Ерланг):

$$A = \begin{cases} n_0 \left[1 - \sqrt{1 - (p_\alpha \sqrt{\pi n_0 / 2})^{1/n_0}} \right] & \text{при } p_\alpha \leq \sqrt{2/\pi n_0}; \\ n_0 + \sqrt{\pi/2 + 2n_0 \ln(p_\alpha \sqrt{\pi n_0 / 2})} - \sqrt{\pi/2} & \text{при } p_\alpha > \sqrt{2/\pi n_0}; \end{cases}$$

$$n_0 = n_s n_\alpha,$$

де n_α – кількість абонентів, які одночасно можуть використовувати один частотний канал (для GSM $n_\alpha = 8$).

5. Кількість абонентів N_{BS} , що обслуговуються однією базовою станцією при заданому значенні ймовірності блокування:

$$N_{BS} = M \cdot \text{int}(A/\beta),$$

де β – активність одного абонента в час найбільшого навантаження.

6. Кількість базових станцій K в стільниковій мережі:

$$K = \text{int}(N_\alpha/N_{BS}) + 1,$$

де N_α – кількість абонентів, яких повинна обслуговувати стільникова мережа в даному місті.

7. Радіус одного стільника:

$$R_0 = \sqrt{S/\pi K},$$

де S – площа міста, в якому розгортається стільникова мережа, км².

8. Потужність P_{BS} базової станції [8]:

$$P_{BS} = P_{MS} - (G_{BS} - 70 - 26,16 \cdot \lg(f_{\text{МГц}}) + 13,82 \cdot \lg(h_{BS}) - (45 - 6,55 \cdot \lg(h_{BS})) \lg R_0),$$

де P_{BS} – потужність передавача базової станції, дБВт; P_{MS} – чутливість приймача, дБВт; G_{BS} – коефіцієнт підсилення антени базової станції, дБ; $f_{\text{МГц}}$ – смуга частот, виділена для передачі сигналу, МГц; h_{BS} – висота підвісу антени базової

станції, м; h_{MS} – висота приймача, приймається 1,5 м; R_0 – радіус одного стільника, км.

Таким чином, можна знайти всі необхідні параметри частотного плану мережі. При складанні повного частотного плану необхідно, знаючи кількість частотних каналів, які припадають на кожну базову станцію і конфігурацію кластеру, що використовуються для побудови мережі, визначити конкретні номінали частот, які виділяються для роботи всіх базових станцій, що належать одному кластеру. При цьому повинні бути зведені до мінімуму перешкоди між стільниками, в яких використовуються сусідні частотні канали, а також інтермодуляційні перешкоди між частотними каналами, що використовуються в одному секторі стільника. Виконавши це, можна буде зменшити рівень випромінювання антени базової станції, а отже, зменшити вплив ЕМП на організми.

Висновки. Для мінімізації електромагнітного випромінювання від станцій мобільного зв'язку необхідно розробити оптимальний проект мережі зв'язку. Для вибору оптимального проектного варіанту системи потрібно сформулювати ряд допустимих варіантів, визначити сукупності сукупність показників якості, задати критерій оптимальності системи. Для цього треба скласти математичний опис умов роботи, структури, показників якості та критерію оптимальності системи в цілому. Показниками якості є кількість абонентів у мережі, площа покриття, ефективність використання радіочастотного спектра, ємність мережі, ймовірність помилки.

1. Коляда Т. В. Биоманнитная совместимость и проблема гигиенической регламентации электромагнитных полей // Тр. науч.-техн. конф. с междунар. участием «Электромагнитная совместимость». – СПб. – 1993. – Ч. III. – С. 743–745.
2. Hockey G.R. J. Assessing the impact of computer workload on operator stress: the role of system controllability / G. R. J. Hockey, R. B. Briner, A. J. Tattersall et al. // Ergonomics. – 1989. – No 32. – P. 1401–1418.
3. Hajiri I.M. Study on occupational stress and health of VDU workers / I. M. Hajiri, H. Seki, M. Saito // WWDU'94 poster, Book of short papers. – Milan, 1994.
4. Bonhornme-Faivre L. Alterations of biological parameters of mice under chronic exposure to environmental low frequency (50 Hz) electromagnetic fields produced by transformer station / L. Bonhornme-Faivre, A. Mace, Y. Bezie et al. // Life Sci. – 1998. – No 14. – P. 1271–1280.
5. http://webtele.com.ua/news_telekom/iks-rejting-sotovaya-svyaz-v-ukraine-itogi-oktyabrya-2009-goda.
6. SYSTRA GSM System Training. NOKIA Connecting People. NOKIA Network Oy 2000 www.nokia.com.
7. Попов В. И. Основы сотовой связи стандарта GSM / Попов В. И. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 250 с.
8. Шмалько А. В. Цифровые сети связи: основы планирования и построения / Шмалько А. В. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 282 с.
9. Емельянов В. В. Системы сотовой подвижной радиосвязи / Емельянов В. В. – Харьков: Торсинг, 2007. – 200 с.
10. Masaharu Hata. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services / Masaharu Hata. – IEEE Tr. VT-29. – No 3, 1980. – P. 317–325.