

О.М. Кісельова\*, В.О. Строева\*\*

\*Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара

\*\*Дніпродзержинський державний технічний університет

## ОПТИМАЛЬНЕ РОЗМІЩЕННЯ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ СУМІСНОГО ВИКОРИСТАННЯ З ВИЗНАЧЕННЯМ ЕКОЛОГІЧНО ЗНАЧИМИХ ЗОН

Наведено результат розв'язання неперервної нелінійної багатопродуктової задачі оптимального розміщення базових станцій мережі мобільного зв'язку сумісного використання з одночасним розбиттям заданої області абонентів на зони обслуговування з метою мінімізувати загальну вартість виробничих витрат і витрат на доставку трафіка до абонентів, з визначенням екологічно значимих зон.

Приведен результат решения непрерывной нелинейной многопродуктовой задачи оптимального размещения базовых станций сети мобильной связи совместного использования с одновременным разбиением заданной области абонентов на зоны обслуживания с целью минимизировать общую стоимость производственных расходов и расходов на доставку трафика к абонентам, с определением экологически значимых зон.

The results of solving continuous nonlinear multigrocery problems of the optimum placing of the base stations of mobile communication of sharing network with the simultaneous set partition area of subscribers on the areas of service with the purpose of minimization of total worth of production charges and charges on delivery of traffic to the subscribers, identifying ecologically significant areas.

**Ключові слова:** оптимальне розбиття множин, багатопродуктова задача, базові станції, трафік, сумісне використання мережі, екологічно значимі зони.

**Вступ.** Інтенсивний розвиток господарської та інформаційної діяльності суспільства спричинив появу нового небезпечного чинника – електромагнітне забруднення навколишнього середовища. За останні двадцять років до головних джерел електромагнітного забруднення населених пунктів України додалася велика кількість базових станцій (БС) мобільного зв'язку. Їх кількість з кожним роком невинно збільшується, що, безперечно, впливає на санітарно-гігієнічний ступінь електромагнітного забруднення населених територій.

Відомо, що електромагнітне забруднення навколишнього середовища поряд із хімічним і радіаційним стало найбільш масштабним видом забруднення, яке в багато разів перевищує рівень природного електромагнітного випромінювання. Саме тому Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) включила проблему електромагнітного забруднення навколишнього середовища в перелік пріоритетних проблем людства.

БС – є основним складником мобільного зв'язку. Вони являють собою системний комплекс приймально-передавальної апаратури, що здійснює централізоване обслуговування групи кінцевих абонентських пристроїв. БС утворюють зони покриття, в межах яких абоненти можуть одержувати послуги від операторів мобільного зв'язку. До цих послуг належать *телефонні розмови, текстові повідомлення, MMS, локальні послуги, Інтернет* та ін.

Число абонентів в системі стільникової мережі зв'язку визначають пропускну здатністю та числом БС, що дорівнює числу робочих зон, яке збільшується за квадратичним законом із зменшенням радіуса робочої зони за постійного радіуса зони обслуговування. Так, якщо 9-10 років тому радіус робочої зони в стільниковій системі зв'язку на території України становив 5-15 км, то на сьогодні він становить 350-500 м. Зменшення радіуса робочої зони, з одного боку, дозволило збільшити в тисячі разів число рухомих абонентів, а з іншого боку, з'явилась можливість зменшити потужність передавачів базових станцій та приймачів (радіотелефонів) і тим самим зменшити вплив базових станцій на гігієнічний стан електромагнітної обстановки.

Дослідженнями ряду зарубіжних (Adey W.P., Nietanen M., Michaelson S., Morgan R.W., Owen R.D. та вітчизняних учених (Думанський Ю.Д., Сердюк А.М., Лось І.П., Андрієнко Л.Г., Шандала М.Г., Прохватило Е.В.) переконливо доведено, що електромагнітне випромінювання істотно впливає на стан здоров'я людини.

У роботах Думанського В.Ю. [1], [2] порушено проблему гігієнічної оцінки електромагнітної ситуації та науково обґрунтовано вимоги до її безпеки в Україні.

Матеріали теоретичних розрахунків показали, що БС на прилеглих до них територіях на висоті 2 м від поверхні землі на відстанях 2-200 м від них утворюють рівень електромагнітного поля в межах 0,0033-0,0145 мкВт/см<sup>2</sup> за гігієнічного нормативу для населення - 2,5 мкВт/см<sup>2</sup>. Ці рівні не несуть загрози для здоров'я населення. Зважаючи на це, автор зробив висновок, що для базових станцій на рівні поверхні землі, як правило, не потрібно встановлювати санітарно-захисні зони. Водночас слід звернути увагу на те, що на висотах 5 м та вище від поверхні землі рівні електромагнітного випромінювання від базових станцій у ряді

випадків перевищують гранично допустимий рівень. У таких випадках з метою захисту населення від електромагнітного випромінювання необхідно встановлювати зони обмеження забудови, які наносять на топографічну карту міста і які обов'язково мають урахуватися у процесі його розбудови.

Ця робота продовжує дослідження, розпочаті в публікації [3], а саме розгляд задачі оптимального розміщення БС мережі мобільного зв'язку сумісного використання з одночасним розбиттям заданої області абонентів на зони обслуговування в умовах технічних обмежень санітарно-захисної зони.

### Постановка задачі

**Задача А.** Нехай у деякому регіоні (області обслуговування абонентів)  $\Omega$  довільної форми необхідно розмістити БС сумісного використання  $M$  операторами мобільного зв'язку, з метою оптимізувати загальну вартість виробничих витрат та витрат на доставку трафіка від БС до абонентів з урахуванням розподілу їх попиту на послуги операторів з визначенням екологічно значимих зон (наприклад, під житлові забудови, зони відпочинку), з урахуванням рівня електромагнітного випромінювання (ЕМВ).

Наведемо математичну модель цієї задачі.

Задано множину  $\Omega = \{(x, y)\}$  абонентів мобільного зв'язку, які можуть користуватися послугами  $M$  операторів ( $j = \overline{1, M}$ ), що сумісно використовують інфраструктуру  $N$  БС ( $i = \overline{1, N}$ ).

Вартість транспортування одиниці трафіка  $c^j(x, y, \tau_i)$   $j$ -м оператором від  $i$ -ї БС до абонента з координатами  $(x, y)$  задається відповідно до виду оператора;  $\tau_1, \dots, \tau_N$  – пункти можливого розміщення БС;  $\rho^j(x, y)$  – попит абонента  $(x, y)$  у пропускній спроможності  $j$ -го оператора ( $j = \overline{1, M}$ ).

Передбачається, що прибуток оператора залежить від його витрат, які є сумою виробничих витрат (устаткування майданчика, будівництво, радіоустаткування, експлуатація і обслуговування), і витрат на доставку трафіка. Для кожної  $i$ -ї БС задана функція  $\varphi_i^j(Y_i^j)$ , що описує залежність вартості виробництва від її потужності  $Y_i^j$ , яку визначають за формулою

$$Y_i^j = \iint_{\Omega_i^j} \rho^j(x, y) dx dy,$$

і наведені капітальні витрати на реконструкцію  $i$ -ї БС з метою збільшити її потужність від існуючої до проектної  $Y_i^j$ .

Нехай  $A$  – рівень ЕМВ радіо поля на одиниці відстані від БС, тоді  $A \cdot \rho^j(x, y)$  – рівень ЕМВ від  $i$ -ї БС у точці  $(x, y)$ . Отже, вираз

$$\sum_{j=1}^M \iint_{\Omega_i^j} A \cdot \rho^j(x, y) dx dy$$

визначає рівень електромагнітного випромінювання  $i$ -ї БС в області  $\Omega$ .

$\Omega$  потрібно розбити на зони обслуговування  $\Omega_i^j$  абонентів  $i$ -ю БС  $i = 1, \dots, N$  послугами  $M$  операторами. Потужність  $i$ -ї БС, яка сумісно використовується  $M$  операторами, визначають сумарною активністю абонентів, що належить  $\Omega_i^j$ .

При цьому для  $i$ -ї БС  $i = \overline{1, p}$  потужність має дорівнювати заданим об'ємам:

$$0 \leq \sum_{j=1}^M \iint_{\Omega_i^j} \rho^j(x, y) dx dy = b_i, \quad i = 1, p,$$

а для БС з номерами  $i = \overline{p+1, N}$  потужність не перевищує заданих об'ємів:

$$0 \leq \sum_{j=1}^M \iint_{\Omega_i^j} \rho^j(x, y) dx dy \leq b_i, \quad i = p+1, \dots, N,$$

та виконуються умови розв'язності задачі:

$$S = \int \sum_{j=1}^M \rho^j(x) dx \leq \sum_{i=1}^N b_i, \quad 0 \leq b_i \leq S, \quad i = 1, \dots, N.$$

Деякі з підмножин  $\Omega_i^j$ ,  $i = \overline{1, N}$ ,  $j = \overline{1, M}$  можуть виявитися порожніми.

Необхідно розбити множину абонентів  $\Omega$  на їх зони обслуговування  $\Omega_i^j$   $N$  базовими станціями системи мобільного зв'язку окремо по кожному з  $M$  операторів так, щоб

$$\bigcup_{i=1}^N \Omega_i^j = \Omega, \quad j = \overline{1, M}, \quad \text{mes}(\Omega_i^j \cap \Omega_k^j) = 0, \quad i \neq k, \quad i, k = 1, \dots, N, \quad j = 1, \dots, M,$$

з метою мінімізації функціонала сумарних витрат операторів та рівня ЕМВ:

$$F((\Omega_1^1, \dots, \Omega_N^1; \Omega_1^2, \dots, \Omega_N^2, \dots, \Omega_1^M, \dots, \Omega_N^M), (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N)) =$$

$$= \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N \left[ \varphi_i^j \left( \int_{\Omega_i^j} \rho^j(x, y) dx \right) + \iint_{\Omega_i^j} (c^j(x, y, \tau_i) + A) \rho^j(x, y) dx dy \right].$$

**Результати.** Скориставшись підходом, застосованим у [4], отримаємо розв'язок задачі А в такому аналітичному вигляді (1), де параметри (2), що входять до розв'язку (1), знаходимо чисельним методом із застосуванням сучасної модифікації г-алгоритму Н.З. Шора:

$$\Omega_{s_i^j} = \left\{ \begin{array}{l} x \in \Omega: c^j(x, \tau_i^*) + A + \psi_i^* + \varphi_{i\tau_i^j}^j \left( \int_{\Omega} \rho^j(x) \lambda_i^{*j}(x) dx \right) = \\ = \min_{k=1, N} \left[ c^j(x, \tau_k^*) + A + \psi_k^* + \varphi_{k\tau_k^j}^j \left( \int_{\Omega} \rho^j(x) \lambda_k^{*j}(x) dx \right) \right] \\ i \neq k \text{ м.в. для } x \in \Omega, j = 1, \dots, M, \end{array} \right\} \quad (1)$$

$$\lambda_i^{*j}(x) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x \in \Omega_{s_i^j} \text{ і } x \notin \Omega_{s_q^j}, q \leq i, \\ 0, & \text{якщо } x \notin \Omega_{s_i^j}. \end{cases} \quad (2)$$

**Висновки.** Наведено результати оптимального розміщення базових станцій сумісного використання декількох операторами мобільного зв'язку, які надають послуги абонентам з певної області у разі одночасного її розподілу на зони обслуговування кожною базовою станцією для кожного з операторів залежно від попиту абонентів на їх послуги з визначенням екологічно значимих зон.

#### Бібліографічні посилання

1. **Думанський, В.Ю.** Стільниковий мобільний зв'язок як джерело електромагнітного забруднення навколишнього середовища [Текст] / В.Ю.Думанський // Гігієна населених місць. – К., 2003. – Вип. 42. – С. 180–188.
2. **Думанський, В.Ю.** Гігієнічна оцінка електромагнітного випромінювання, що створюється обладнанням стільникового мобільного зв'язку стандарту GSM-900 [Текст] / В. Ю. Думанський // Там само. – К., – 2004. – Вип. 43. – С. 233–241.
3. **Кісельова, О.М.** Оптимальне розміщення базових станцій сумісного використання (Network sharing) декількох операторами мобільного зв'язку [Текст] / О.М. Кісельова, В.О.Строева // Питання прикл. математики і математ. моделювання: зб. наук. пр. – Д.: ДНУ, 2012. – С. 143–154.
4. **Киселёва, Е.М.** Алгоритм решения нелинейной непрерывной многопродуктовой задачи оптимального разбиения множеств с размещением центров подмножеств [Текст] / Е.М. Киселёва, В.А. Строева // Пробл. упр. и информатики. – 2012. – № 1. – С. 40 – 53.

Надійшла до редколегії: 17.06.2015