

## РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 621.3.095.3

**І.В. Корнієнко**, канд. техн. наук

Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

**С.П. Корнієнко**, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### АЛГОРИТМ ОЦІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ТЕРИТОРІЙ

*Запропоновано алгоритм оцінювання електромагнітного забруднення навколишнього середовища з використанням геоінформаційних систем, розглянуто порядок і умови виконання основних обчислювальних операцій.*

**Ключові слова:** алгоритм, електромагнітне забруднення, геоінформаційні системи, напруженість електромагнітного поля, джерела електромагнітного випромінювання.

*Предложен алгоритм оценки электромагнитного загрязнения окружающей среды с использованием геоинформационных систем, рассмотрен порядок и условия выполнения основных вычислительных операций.*

**Ключевые слова:** алгоритм, электромагнитное загрязнение, геоинформационные системы, напряженность электромагнитного поля, источники электромагнитного излучения.

*Evaluation algorithm of electromagnetic pollution using geoinformation systems is proposed in the article. An order and conditions of main calculating operations execution are given.*

**Key words:** algorithm, electromagnetic pollution, geoinformation systems, electromagnetic fields strength, electromagnetic radiation sources.

**Постановка проблеми.** Завдання визначення ступеня електромагнітного забруднення територій є складовою проблеми моніторингу екологічного забруднення навколишнього середовища. Як правило, задача оцінювання електромагнітного забруднення розв'язується двома основними способами: при першому способі виконуються практичні виміри напруженості електромагнітного поля у досліджуваному просторі, що вимагає величезних витрат і тривалого часу; інший спосіб полягає у моделюванні геопростору і процесів поширення електромагнітної енергії від множини джерел електромагнітного випромінювання (ДЕМВ), що в цілому є складною обчислювальною задачею. Застосування геоінформаційних технологій може суттєво спростити завдання побудови моделі оцінювання і прогнозування зон електромагнітного забруднення геопростору, проте аналітичний апарат існуючих геоінформаційних систем (ГІС) не адаптований до розв'язування задач такого класу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженням біологічного впливу електромагнітного випромінювання на організм людини та біосферу в цілому присвячено багато наукових праць зарубіжних, радянських, пострадянських і вітчизняних авторів, серед яких: Adey W., Sheppard A., Blank M., Goodman E., Greenebaum B, Marron M., Simon N., Думанський Ю.Д., Дев'ятков Н.Д., Антипов В.В., Давидов Б.І., Тихончук В.С., Госьков П.І., Беккер В.Н., Шапов Ю.А., Грачов Н.Н., Копанев В.І., Шакула А.В., Пресман А.С., Сомов А.Ю., Макаров В.З., Прольоткін І.В., Чумаченко А.Н., Григор'єв Ю.Г., Григор'єв О.А., Голант М.Б., Бецький О.В., Муратов Є.І., Холодов Ю.А., Лебедева Н.Н., Хейфец Л.І. та багато інших. Питання комп'ютерного моделювання та кількісного визначення впливу електромагнітного випромінювання досліджували у своїх роботах Статюха Г.О., Бойко Т.В., Вишнівський О.В., Федонюк М.А., Федонюк А.А., Фесюк В.О., Панькевич С.Г., Глива В.А., Левченко Л.О. та інші. Проблеми застосування ГІС для розв'язування задач оцінювання електромагнітного забруднення територій висвітлювали у своїх роботах Потапов О.О. [1], Довбиш В.Н., Сівков В.С., Сподобаєв Ю.М. [2; 3], Сомов А.Ю., Макаров В.З., Прольоткін І.В., Чумаченко А.Н. [4] та інші.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** У [5] сформульований підхід до геоінформаційного оцінювання електромагнітного забруднення, який полягає у використанні існуючих об'єктних моделей геоінформаційного простору для моделювання процесів поширення електромагнітних хвиль з подальшим визначенням напруженості електромагнітного поля у досліджуваній сфері. Подібне моделювання вимагає розроблення загального алгоритму проведення обчислень і використання баз просторових даних з урахуванням множини ДЕМВ, їх просторових і параметричних характеристик, властивостей і характеристик геопростору, а також критеріїв і цілей проведення оцінювання. Отже, розроблення алгоритму оцінювання електромагнітного забруднення територій є актуальним науковим завданням.

**Мета статті** – розроблення алгоритму оцінювання рівня електромагнітної енергії від множини ДЕМВ.

**Виклад основного матеріалу.** Досліджуваний простір  $G = \{(x, y, z); (x, y, z) \in R^3\}$ , де  $R^3$  – просторова система координат, характеризується наявністю множини джерел електромагнітного випромінювання  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ . Кожне  $s_i$ -те ДЕМВ має дві групи характеристик: просторові характеристики ДЕМВ в області  $G: s_i^G(x_i, y_i, z_i)$  і параметричні характеристики, які визначають рівень випромінювання електромагнітної енергії  $s_i^E \in \{e_i^1, e_i^2, \dots, e_i^m\}$ . Відомості про множини ДЕМВ зберігаються у базі просторових даних. Необхідно розробити алгоритм оцінювання рівня електромагнітної енергії від множини ДЕМВ  $S$  у дискретних точках простору  $g_j(x_j, y_j, z_j)$ .

Оцінювання рівня електромагнітного забруднення передбачає виконання певних технологічних операцій, а саме: введення початкових даних, попередньої обробки вихідних даних, проведення обчислень рівнів потужності електромагнітної енергії від множини ДЕМВ у дискретних точках простору, перевірки відповідності результату обчислень емпірично-одержаним даним, інтегрування значень обчислень для множини просторово-розподілених ДЕМВ, згортки значень електромагнітного забруднення для різних частотних діапазонів, оцінювання рівня забрудненості територій.

Блок-схема алгоритму оцінювання рівня електромагнітного забруднення просторової області  $G$  зображена на рисунку.

Операції введення вихідних даних передбачають введення в ГІС меж просторової області оцінювання  $G$ , фіксованої висоти оцінювання для області оцінювання  $z_j = z_0$  та кроку дискретизації оцінюваного простору  $\Delta g$ , на основі чого здійснюються запити до відповідних баз даних, вибірка характеристик земної поверхні  $G_M$  та матриці рельєфу області оцінювання  $G_h$ , а також вибірка просторових та параметричних характеристик ДЕМВ. Характеристики області оцінювання повинні зберігатися в об'єктній базі просторових даних, першоджерелом яких можуть бути, наприклад, базові набори геопросторових даних національної інфраструктури геопросторових даних. База даних просторових та параметричних характеристик ДЕМВ може формуватися на основі інтеграції даних організацій, які виконують функції контролю та надання дозволу на використання випромінюючих засобів, провайдерів послуг радіозв'язку та електропостачання, нормативно-технічної інформації розробників та виробників ДЕМВ.

База даних моделей поширення електромагнітних хвиль  $W_M = \{w_1, w_2, \dots, w_k\}$  містить набір стандартизованих моделей обчислення рівня послаблення електромагнітної енергії під час поширення у просторі, який визначається набором характеристик  $G_M$  геоінформаційної моделі земної поверхні та матриці рельєфу  $G_h$ .

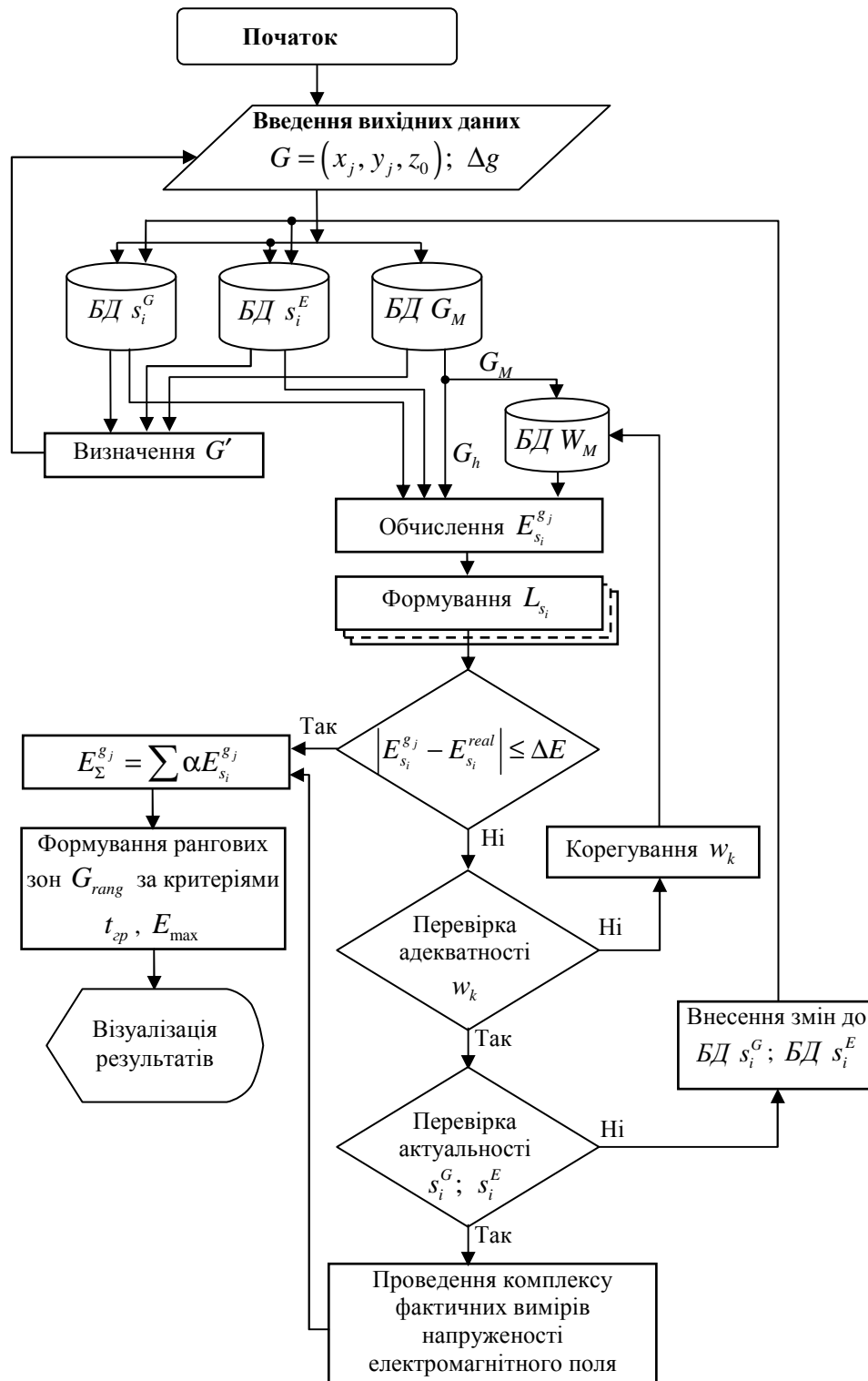


Рис. Блок-схема алгоритму оцінювання електромагнітного забруднення території

Особливістю прогнозування електромагнітного забруднення території є можливість розташування ДЕМВ поза межами оцінюваного району, які при цьому здатні впливати на рівень електромагнітного забруднення. Тому під час оцінювання забруднення необхідно здійснювати вибірку з баз даних і здійснювати відповідні обчислення на територіях  $G'$ , дещо більших, ніж задані межі вихідного оцінюваного району  $G$ . Потенційна віддаленість ДЕМВ  $d = (s_i^E, r_i^G)$  від району оцінювання, які впливають на забрудненість терито-

рій  $G$ , визначається характеристиками випромінювання  $i$ -го ДЕМВ (потужність і частота випромінювання, характеристики антен) та рівнем послаблення на трасі поширення електромагнітних хвиль від  $i$ -го ДЕМВ до оцінюваного району  $G$ . Відповідне визначення меж району  $G'$  вимагає наближених попередніх обчислень, для скорочення яких можна обирати лише найпотужніші ДЕМВ і використовувати модель поширення електромагнітних хвиль з найменшим послабленням, що відповідає умовам найгіршого випадку.

На основі обчислених меж  $G'$  здійснюються повторний запит до баз даних і вибірка геоінформаційних моделей об'єктів, які розташовані в області  $G'$ , а також їх характеристик. Набір характеристик земної поверхні  $G_M$  області  $G'$  є основою для вибору моделі поширення електромагнітних хвиль  $w_k$ . Обчислення рівнів електромагнітного поля  $E_{s_i}^{g_j}$  здійснюється для всіх  $s_i$  у дискретних точках простору  $g_j$  з використанням матриці рельєфу  $G_h$  для заданих висот аналізу  $z_j$ . Результат обчислень формує окремий шар  $L_{s_i}$  значень випромінювань  $s_i$ -го ДЕМВ. Окремо слід зауважити, що кожний  $L_{s_i}$  шар, крім значення напруженості електромагнітного поля в конкретній точці простору може нести інформацію про смугу частот, у якій відбувається електромагнітне забруднення, спектральну щільність та маску електромагнітного випромінювання або інші специфічні параметри електромагнітного випромінювання.

Для перевірки достовірності розрахункової оцінки електромагнітного забруднення обчислені значення  $E_{s_i}^{g_j}$  порівнюються з фактичними контрольними вимірами рівня електромагнітного поля  $E_{s_i}^{real}$  в певних точках простору  $g_r$ , при цьому різниця обчислених і вимірних значень не повинна перевищувати певного граничного значення похибки обчислень  $\Delta E$ . Під час проведення перевірки може спостерігатися розбіжність координат точок, в яких здійснюється обчислення напруженості електромагнітного поля  $g_j$  і точок фактичних вимірів  $g_r$ , що вимагає розв'язування додаткової задачі вибору найближчої до  $g_r$  точки  $g_j$ . Актуалізація даних фактичних контрольних вимірів здійснюється відповідними органами контролю за використанням радіочастотного ресурсу або провайдером послуг у ході регламентно-технічних робіт.

У позитивному випадку перевірки достовірності оцінювання, тобто відповідності обчислених значень напруженості електромагнітного поля фактично вимірним значенням, у дискретних точках простору  $g_j$  здійснюється складання напруженостей електромагнітних полів різних діапазонів і різних ДЕМВ  $E_{\Sigma}^{\Delta g} = \sum \alpha E_{s_i}^{\Delta g}$ , де  $\alpha$  – коефіцієнт "шкідливості" частоти електромагнітного випромінювання для біологічного організму. У негативному випадку здійснюються перевірка і корегування моделі поширення електромагнітних хвиль  $w_k$ , перевірка і корегування бази даних ДЕМВ  $s_i^G$  або їх характеристик випромінювання  $s_i^E$ . У найгіршому випадку, якщо корегування моделі поширення і характеристик ДЕМВ не дають позитивного результату, необхідно провести комплекс фактичних вимірювань напруженості електромагнітного поля у зонах перевищення похибки  $\Delta E$  гранично допустимого значення з подальшою інтерполяцією результатів.

На основі обчислених сумарних значень напруженості електромагнітного поля  $E_{\Sigma}^{\Delta g}$  формуються рангові просторові зони відповідно до одного з заданих критеріїв, якими можуть бути, наприклад, граничний час перебування в зоні  $t_{zp}$  або максимально допустимий рівень напруженості електромагнітного поля  $E_{max}$ . Сформовані рангові зони характеризують потенційну електромагнітну небезпеку, в яких сумарне електромагнітне поле

перевищує нормативні показники. Під час візуалізації результатів моделювання для більшої наочності рівня електромагнітного забруднення доцільно формування поперхні рівнів напруженості електромагнітного поля.

Немаловажним чинником успіху реалізації запропонованого алгоритму є створення і використання об'єктно-орієнтованих моделей геоінформаційного простору. Важливість точного і повного опису властивостей реальних об'єктів обумовлена різним ступенем їх впливу під час поширення електромагнітної хвилі. При цьому важливим є не тільки опис геометричних характеристик об'єкта, але й хімічні, біологічні, фізичні властивості, від чого залежить, наприклад, рівень послаблення хвилі або коефіцієнт відбиття. Також завдяки створюваним об'єктним моделям можна характеризувати рівень біологічної небезпеки та забрудненості безпосередньо у середині об'єктів (будівлях, лісопаркових зонах тощо).

**Висновки і пропозиції.** Запропонований алгоритм геоінформаційного оцінювання електромагнітного забруднення територій є основою геоінформаційної системи оцінювання електромагнітного забруднення, яка може бути реалізована як окремий програмний модуль у складі потужних пакетів програмних геоінформаційних продуктів (наприклад ArcGIS), так і окремим геоінформаційним додатком.

Обов'язковим для реалізації алгоритму є використання баз просторових даних, джерелом яких може виступати національна інфраструктура геопросторових даних, бази даних органів контролю за використанням радіочастотного ресурсу і провайдерів послуг. В алгоритмі передбачені операції перевірки аналітичних обчислень завдяки порівнянню отриманих результатів із значеннями контрольних вимірів. Передбачено просторове і частотне інтегрування результатів обчислень для множини джерел електромагнітного випромінювання. Розроблювана геоінформаційна система оцінювання електромагнітного забруднення може бути використана як публічний геоінформаційний сервіс, прикладне забезпечення для вирішення соціально-економічних питань, складова частина геоінформаційної системи управління радіочастотним ресурсом або геоінформаційна система моніторингу екологічного забруднення навколишнього середовища.

#### **Список використаних джерел**

1. *Потапов А. А.* Методы радиофизического моделирования с использованием геоинформационных систем в обеспечении электромагнитной безопасности урбанизированных территорий / А. А. Потапов, А. В. Турчанинов, А. Ф. Королев // Экология урбанизированных территорий. – 2007. – № 1. – С. 57-62.

2. *Довбыш В. Н.* Визуализация электромагнитной обстановки, создаваемой телекоммуникационными техническими средствами, расположенными на больших территориях / В. Н. Довбыш, В. С. Сивков, Ю. М. Сподобаев // Научно-технический и теоретический журнал «Антенны». – 2006. – № 10 (113). – С. 58-62.

3. *Довбыш В. Н.* Цифровая электромагнитная модель местности / В. Н. Довбыш, В. С. Сивков // Научно-технический и информационно-аналитический журнал «Инфокоммуникационные технологии». – 2007. – № 1. – С. 85-88.

4. *Применение* геоинформационных технологий для анализа и регулирования электромагнитного загрязнения окружающей среды [Электронный ресурс] / А. Ю. Сомов, В. З. Макаров, И. В. Пролеткин, А. Н. Чумаченко ; Саратовский государственный университет. Отдел геоинформационных систем Поволжского регионального центра новых информационных технологий. – Режим доступа : [http://ogis.sgu.ru/ogis/gis\\_otd/publ17.htm](http://ogis.sgu.ru/ogis/gis_otd/publ17.htm).

5. *Корнієнко І. В.* Використання ГІС в задачах моніторингу електромагнітного забруднення навколишнього середовища / І. В. Корнієнко, Ю. С. Сімакін // Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землекористування – європейський досвід : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції. – Чернігів : ЧДПУ, 2011. – С. 152-159.