

ГЕОДЕЗІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ (193)

УДК 504.05:528.48:004.6

**КОНЦЕПТУАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БАЗИ ДАНИХ ГІС-МОНІТОРИНГУ
ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПОСЕЛЕНЬ**

Канд. техн. наук В. І. Козарь, д-р техн. наук В. С. Бахарєв,
канд. біол. наук Н. П. Гальченко, канд. техн. наук Є. В. Дорожко

**CONCEPTUAL MODELING OF THE DATABASE OF GIS MONITORING OF
ELECTROMAGNETIC POLLUTION OF SETTLEMENTS**

PhD (Tech.) V. Kozar, Dr. Sc. (Tech.) V. Bakhariev, PhD (Biol.) N. Halchenko,
PhD (Tech.) Y. Dorozhko

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.202.2022.273613>



***Анотація.** У статті викладено результати моделювання бази геопросторових даних для моніторингу електромагнітного забруднення поселень. Під час досліджень проаналізовано предметну сферу моніторингу електромагнітного забруднення, сформовано базовий і профільний набори геопросторових даних для систем геоінформаційного моніторингу електромагнітного забруднення поселень. Запропонований варіант концептуальної моделі бази даних може бути основою фізичного моделювання системи моніторингу електромагнітного забруднення поселень.*

***Ключові слова:** електромагнітне забруднення, моніторинг, концептуальна модель, геопросторові дані.*

***Abstract.** The article presents the results of conceptual modeling of the geospatial database for monitoring electromagnetic pollution of settlements. Recently, the world has seen a rapid increase in the number of sources and the level of electromagnetic radiation. This can negatively affect people's health and their environment.*

The analysis of the publications showed that today researchers have formed a theoretical base for assessing the impact of electromagnetic radiation on people and the environment, developed models of the propagation of electromagnetic waves, ways and methods of protection against their harmful effects. However, not enough attention has been paid to monitoring the electromagnetic pollution of settlements.

Systematic measurements of electromagnetic field levels are carried out only by individual EU countries. Systematic control of this type of pollution is not carried out in Ukraine, there are no regulatory documents regarding the procedure for its monitoring, but the maximum permissible levels of electromagnetic fields for the population are established.

Data on the distribution of electromagnetic fields are interdisciplinary in nature and necessarily contain an indication of the location of objects. For their effective processing, it is advisable to use geo-information technologies.

Based on the results of the analysis of the subject area of electromagnetic pollution monitoring, a conceptual data model was developed. It is described using UML tools. The model contains two sets of data. The basic set of geospatial data includes information about buildings of

various purposes, land plots, streets, highways, railways, engineering communications, relief, soils, hydrography, territory zoning, facility addresses. The profile set includes data on electromagnetic radiation sources and their sanitary protection zones, control points, the results of calculations and measurements of radiation parameters, the relative level of electromagnetic fields and the building restriction zones. The proposed model can be the basis of the physical modeling of the settlement's electromagnetic pollution monitoring system.

Keywords: *electromagnetic pollution, monitoring, conceptual model, geospatial data.*

Вступ. Останні кілька десятиліть в усьому світі спостерігається стрімкий розвиток радіоелектроніки. Багаточисельні лінії електропередач, промислове обладнання, об'єкти радіо- та телемовлення, станції мобільного зв'язку, транспорт, побутові та багато інших електроприладів є штучними джерелами електромагнітного випромінювання (ЕМВ). Кількість таких джерел і відповідно рівень ЕМВ постійно зростають, що впливає на електромагнітну обстановку територій і здоров'я людей. Результати вітчизняних і закордонних експериментальних досліджень свідчать про високу біологічну активність електромагнітних полів (ЕМП) в усіх частотних діапазонах. Значущість цих питань підтверджується тим, що в 1995 році Всесвітньою організацією охорони здоров'я було введено термін «глобальне електромагнітне забруднення довкілля», а проблему електромагнітного забруднення (ЕМЗ) включено до переліку пріоритетних проблем людства [1]. Проблема ЕМЗ є особливо актуальною в містах, для яких характерні насиченість різноманітними джерелами ЕМВ та висока щільність населення. За даними ООН, до 2050 року в містах житиме більше 2/3 населення планети [2].

Звичайно, людство не може відмовитися від таких благ цивілізації, як електропостачання, радіо- і телемовлення, мобільний зв'язок, електротранспорт тощо. Тому основним завданням є захист людей і довкілля від шкідливого впливу ЕМВ. Організація такого захисту передбачає в першу чергу оцінювання рівня ЕМЗ на основі достовірних даних про джерела випромінювання, особливості забудови

населеного пункту, кількість населення та інші чинники. Основою для об'єктивної оцінки є моніторинг. Тому питання організації і вдосконалення систем моніторингу ЕМЗ є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження впливу ЕМВ на довкілля проводилися за різними напрямками: вплив на людей і живі організми, гігієнічна оцінка, особливості поширення електромагнітних хвиль (ЕМХ), розроблення і вдосконалення способів і методів захисту, методологія та технологія моніторингу ЕМЗ, картографування та застосування геоінформаційних систем (ГІС) при здійсненні моніторингу ЕМЗ.

Найбільше досліджень проведено у сфері оцінювання впливу ЕМХ на живі організми. Встановлено, що в біологічних системах вплив ЕМВ викликає широкий спектр реакцій [3], які залежать від інтенсивності і частоти випромінювання, тривалості опромінення, періодичності дії та ін. До відхилень у здоров'ї людини, що були доведені, належать загальні симптоми (погіршення настрою, зниження працездатності та вербальних розумових здібностей, нестабільність температури тіла, головний біль, слабкість, швидка втомлюваність, поганий сон, алергічні реакції тощо) [4]; порушення нервової [5, 6], серцево-судинної [7, 8] та імунної [9] систем, розвиток злоякісних ракових утворень [10], розлади репродуктивної функції [11]. Більшість авторів відзначають, що особливо чутливі до несприятливого впливу ЕМВ ембріони та діти. Крім того, між вченими не припиняються дискусії щодо негативної дії ЕМВ на гени та фізіологію клітини [10].

ЕМВ негативно впливає також на інші живі організми. Результати ботанічних досліджень свідчать, що тривалий вплив магнітного поля може викликати різні біологічні ефекти на органному, тканинному та клітинному рівнях [12, 13]. Зокрема, на клітинному рівні відбувається порушення біохімічних процесів, що призводить до пошкодження коренів рослин [14].

Багато публікацій присвячено гігієнічній оцінці ЕМЗ. Ці дослідження дозволили здійснити комплексне гігієнічне оцінювання стану ЕМЗ окремих міст [15], визначити небезпечні рівні ЕМВ і стали підґрунтям для встановлення гранично допустимих рівнів (ГДР) напруженості електричного і магнітного полів [16-18].

Продовжуються дослідження особливостей поширення ЕМХ. Вітчизняними та зарубіжними вченими були визначені закономірності розповсюдження ЕМХ у просторі [19, 20], розроблені моделі поширення ЕМХ [19, 21, 22], у тому числі тривимірні моделі, що враховують специфіку міського середовища [23]. Слід зазначити, що переважна більшість досліджень у цій сфері проводиться для планування та оптимізації бездротових мереж.

Важливим напрямом досліджень є розроблення і вдосконалення способів і методів захисту від ЕМЗ. Аналіз публікацій показав, що ефективним методом захисту є екранування випромінювань [24, 25]. Для створення екранів застосовують різні матеріали, а останні дослідження спрямовані на покращення їхніх властивостей [26] і розроблення нових матеріалів [27]. Однак екрани зменшують як штучні, так і природні ЕМП, що також може мати негативні наслідки для здоров'я людей [25]. Тому основним видом захисту залишається регламентація відстані від джерела випромінювання шляхом визначення санітарно-захисних зон.

Предметом багатьох досліджень є вдосконалення методології та технології

проведення моніторингу ЕМЗ. Дослідниками узагальнено концепції та методики моніторингу ЕМЗ [28-30], створено національні системи моніторингу ЕМП [31], удосконалено методи моніторингу ЕМЗ урбанізованих територій [32, 33], встановлено рівні ЕМВ на територіях окремих міст [34-36].

Окремо слід виділити публікації щодо картографування ЕМЗ і застосування геоінформаційних систем, що забезпечують наочне подання рівнів ЕМЗ території. Вченими обґрунтовано зміст і масштаб картографічних матеріалів залежно від потужності випромінювачів і вирішуваних завдань [37], оптимізовано щільність точок вимірювання рівня ЕМВ [38], доведено можливість застосування методів просторової статистики для оцінювання рівнів ЕМВ [39], узагальнено підходи до геоінформаційного моделювання ЕМЗ, запропоновано процедури та методології оцінювання рівнів ЕМВ за допомогою ГІС, створено прототипи систем моніторингу ЕМЗ на базі ГІС [40-42].

Отже, на сьогодні існує розвинена теоретична база для оцінювання впливу ЕМВ на людей і середовище їхнього існування, розроблені моделі поширення ЕМХ, способи та методи захисту від їхнього шкідливого впливу. Однак, на нашу думку, недостатньо уваги приділено питанням моніторингу ЕМЗ населених пунктів. Зокрема, відсутні науково обґрунтовані рекомендації до організації систем моніторингу ЕМЗ, не стандартизовані схеми баз даних моніторингу. При цьому точна інформація особливо важлива, коли потрібно оцінити можливі наслідки дії ЕМВ. Недостатня поінформованість може стати причиною негативної громадської думки та неприйняття впровадження нових технологій через чутки про шкоду для здоров'я. Тобто питання моделювання і проектування ГІС для моніторингу ЕМЗ залишаються актуальними.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою досліджень є створення концептуальної моделі бази геопросторових даних для організації та ведення моніторингу ЕМЗ населених пунктів. Для досягнення мети було проведено аналіз систем моніторингу ЕМЗ поселень як об'єкта інформатизації та розроблено концептуальну модель даних.

Основна частина дослідження. Вивчення стану діяльності з оцінювання ЕМП у різних країнах [28, 40] свідчить, що національні схеми організації та технічні рішення при здійсненні моніторингу ЕМЗ досить різноманітні. Більшість країн ЄС проводить вимірювання рівнів ЕМП радіочастотного діапазону, але переважно це діапазон частот, використовуваний системами стільникового мобільного зв'язку (300 МГц - 3 ГГц). В окремих країнах ЄС проводять вимірювання рівнів ЕМП у діапазоні надзвичайно низьких частот (0 Гц - 300 Гц), однак це скоріше винятки, ніж регулярні спостереження.

В Україні систематична діяльність у сфері моніторингу ЕМЗ не здійснюється, а вимірювання та картографування рівнів ЕМВ були виконані переважно як ініціативні наукові дослідження в окремих населених пунктах. Наразі в Україні

відсутні нормативні документи, що чітко регламентують правила організації та здійснення моніторингу ЕМЗ, для чинних норм характерна неузгодженість деяких положень. Однак основні вимоги щодо контролю рівнів ЕМВ українським законодавством сформульовані. Чинними в Україні нормативно-правовими актами [43-45] встановлені ГДР для досить широкого діапазону частот ЕМВ. При цьому визначено, що ЕМП у діапазонах частот до 300 МГц оцінюється напруженістю поля, а в діапазонах частот від 300 МГц до 300 ГГц – поверхневою щільністю потоку енергії [44].

Для захисту населення від шкідливого впливу пристроїв електропередач змінного струму промислової частоти (50 Гц) ГДР напруженості електричних полів встановлені в межах від 0,5 до 20 кВ/м залежно від доступності об'єктів для людей [44]. ГДР напруженості електричних полів, створюваних радіотехнічними об'єктами при безперервному випромінюванні, подані в таблиці. ГДР поверхневої щільності потоку енергії, яку створюють такі об'єкти в діапазоні частот від 300 МГц до 300 ГГц, обмежено значенням 100 мкВт/см².

Таблиця

Гранично допустимі рівні напруженості електричних полів

Частоти, МГц	0,03-0,3	0,3-3	3-30	30-300
Гранично допустимі рівні, В/м	25	15	6-3	6

ГДР напруженості електричних полів, які створюють телевізійні радіостанції в діапазоні частот від 48 до 1000 МГц, нормують окремо і визначають за формулою [45]

$$E_{ГДР} = 21 f^{-0,37},$$

де f – несуча частота оцінюваного каналу, МГц.

ГДР поверхневої щільності потоку енергії, створюваної радіолокаційними станціями (імпульсне та комбіноване випромінювання), залежать від частоти і режиму випромінювання і коливаються від 10 до 140 мкВт/см².

Для кількох джерел випромінювання, що працюють у різних радіочастотних діапазонах, визначають відносний рівень ЕМП, створюваний усіма джерелами, з урахуванням відповідних ГДР [44, 45].

Законодавством України [46] чітко визначено об'єкти і території, на яких необхідно вживати заходів щодо недопущення перевищення значень фізичних факторів, що можуть впливати на здоров'я людини. Нормами [43-45] також регламентовано вимоги щодо розміщення будинків і споруд, встановлення випромінюючого обладнання, створення санітарно-захисних зон, організації захисту від впливу ЕМП. Однак навіть найжорсткіші санітарно-гігієнічні обмеження не гарантують відсутності шкідливого впливу ЕМВ на городян. ЕМЗ урбанізованих територій досить складне у просторовому відношенні явище. Його формує велика кількість джерел випромінювання зі спрямованими та ізотропними антенами в умовах складної тривимірної структури середовища, що призводить до багатопроменевого поширення радіохвиль, чергування ділянок з прямою видимістю випромінюючих антен і зон радіотіні. Сьогодні в Україні контроль рівнів ЕМВ проводять здебільшого при встановленні нового випромінюючого устаткування або за зверненнями мешканців, а для об'єктивної оцінки екологічного стану потрібна достовірна інформація, джерелом якої є моніторинг.

Метою створення систем моніторингу ЕМЗ поселень є організація спостережень для отримання інформації про джерела випромінювання, рівні ЕМЗ, динаміку їхньої зміни і кількість населення, яке проживає на територіях з перевищеним рівнем ЕМЗ. Моніторинг ЕМЗ важливий для оцінювання інженерної інфраструктури, екологічної безпеки, дотримання санітарно-гігієнічних норм на урбанізованих територіях. Загалом проведення моніторингу ЕМЗ на території населених пунктів передбачає інвентаризацію джерел ЕМВ і захищених об'єктів з відображенням їх на планово-картографічних матеріалах, розрахунки та вимірювання рівнів ЕМВ, визначення об'єктів і територій з перевищенням ГДР

напруженості електричних полів і поверхневої щільності потоку енергії, розроблення рекомендацій щодо зниження шкідливого впливу ЕМП на мешканців.

За характером просторової локалізації джерела ЕМВ можна поділити на три типи: точкові, лінійні, площинні. Враховуючи розміщення у просторі та вимоги українських нормативно-правових актів щодо контролю рівня ЕМВ, можна сформулювати такі групи антропогенних джерел ЕМВ:

- 1) лінії електропередач та електрифікованого транспорту;
- 2) електроенергетичні промислові установки;
- 3) радіотехнічні системи;
- 4) телевізійні передавачі;
- 5) радіолокаційні засоби імпульсного випромінювання;
- 6) радіолокаційні засоби комбінованого випромінювання.

Лінії електропередачі створюють ЕМП промислової частоти (50 Гц), рівні яких можуть значно перевищувати середні рівні природних полів. Джерелами випромінювання енергії в навколишній простір є в цьому випадку дроти ЛЕП, рейки живлення потягів і сам рухомий склад. Такі об'єкти мають велику протяжність і утворюють мережі.

Електроенергетичні промислові установки можуть створювати ЕМП частотою до 3 кГц. Джерелами випромінювання такої групи є технологічне устаткування та дроти ЛЕП.

Радіотехнічні системи (засоби радіомовлення, радіонавігації, передачі команд телеуправління, обладнання радіорелейного, стільникового й тракінгового зв'язку тощо) працюють на частотах 3 кГц-40 ГГц. Вони можуть включати технічні будівлі з радіопередавачами та антенні поля, на яких розташовуються десятки антенно-фідерних систем. Антени встановлюють на висоті 15-100 м від поверхні землі на будівлях або щоглах. При встановленні їх на житлових

будинках обов'язково контролюють рівень ЕМВ.

Телевізійні передавальні станції зазвичай складаються з радіопередавачів і випромінювальної антени (на вежі або щоглі), з'єднаних фідерними лініями, і контрольно-вимірювальної апаратури. Такі об'єкти зазвичай випромінюють у діапазоні частот від 48 до 1000 МГц.

Радіолокаційні станції оснащені, як правило, антенами дзеркального типу та мають вузькоспрямовану діаграму випромінювання. Радіолокаційні системи імпульсного випромінювання можуть працювати на частотах від 500 МГц до 250 ГГц, комбінованого випромінювання – від 3 до 300 ГГц. Створюваний ними сигнал принципово відрізняється від випромінювання інших джерел, оскільки періодичне переміщення антени призводить до просторової переривчастості, а циклічність роботи радіолокатора (випромінювання/приймання) – до часової переривчастості опромінення.

Інвентаризація об'єктів і територій, на яких необхідно контролювати рівні ЕМП, важлива для визначення кількості та часу перебування людей у цих об'єктах. Визначені законодавством [46] захищені об'єкти можна поділити на такі типи:

– житлові будівлі (час перебування людей більше 8 год на добу);

– громадські будівлі (час перебування людей зазвичай менше 8 год на добу, але в закладах охорони здоров'я та освіти може бути більше 8 год, а відвідувачі часто є особливо чутливими до впливу випромінювання);

– виробничі будівлі (час перебування людей близько 8 год на добу, можуть бути розташовані в безпосередній близькості до джерел випромінювання);

– прибудинкові території житлових будівель (час перебування людей менше 8 год на добу);

– території рекреаційного призначення (час перебування людей менше 8 год на добу).

Розрахунки рівнів ЕМВ проводять для попередньої оцінки стану міського середовища та визначення місць інструментального контролю рівня ЕМЗ. Слід зазначити, що регламентовані нормами [45] методи розрахунків базуються на простих метриках (відстань до джерела випромінювання, пряма видимість) і лише наближено (шляхом введення коефіцієнтів) враховують характеристики реального середовища поширення ЕМХ. Для точнішої оцінки просторового розподілу ЕМП доцільно застосовувати теоретичні та емпіричні моделі поширення ЕМХ, що враховують тип рельєфу, багатопрорізне поширення, поглинання хвиль та інші характеристики середовища.

Нормативними документами [44] визначено, що вимірювання рівнів ЕМП проводяться суб'єктами господарювання, акредитованими на проведення таких досліджень. При цьому вимірювання проводять переважно при спорудженні чи реконструкції об'єктів, що випромінюють електромагнітну енергію. Під час моніторингу інструментальний контроль рівня ЕМЗ доцільно здійснювати на об'єктах і територіях, де за результатами розрахунків можливе перевищення ГДР напруженості електричних полів і поверхневої щільності потоку енергії. При вимірюванні параметрів ЕМП необхідно фіксувати місцезнаходження (координати) і висоту кожної контрольної точки. Наявність просторової складової в результатах розрахунків і вимірювань параметрів ЕМП дозволить використовувати функціональні можливості ГІС для оцінювання рівня ЕМЗ території та візуалізації його результатів.

Результати проведеного аналізу узагальнені в концептуальній моделі даних системи моніторингу ЕМЗ. Концептуальна модель описана засобами UML. Характер просторової локалізації об'єктів відображений відповідними піктограмами.

Модель передбачає формування двох наборів даних: базового і профільного.

До базового набору даних включені відомості про об'єкти, що є важливими для контролю рівня ЕМЗ на території поселень (рис. 1): будівлі, земельні ділянки, вулиці,

автошляхи, залізниці, інженерні комунікації, рельєф, ґрунти, гідрографію, зонування території, адреси об'єктів. Ця інформація може бути отримана з існуючих наборів просторових даних.

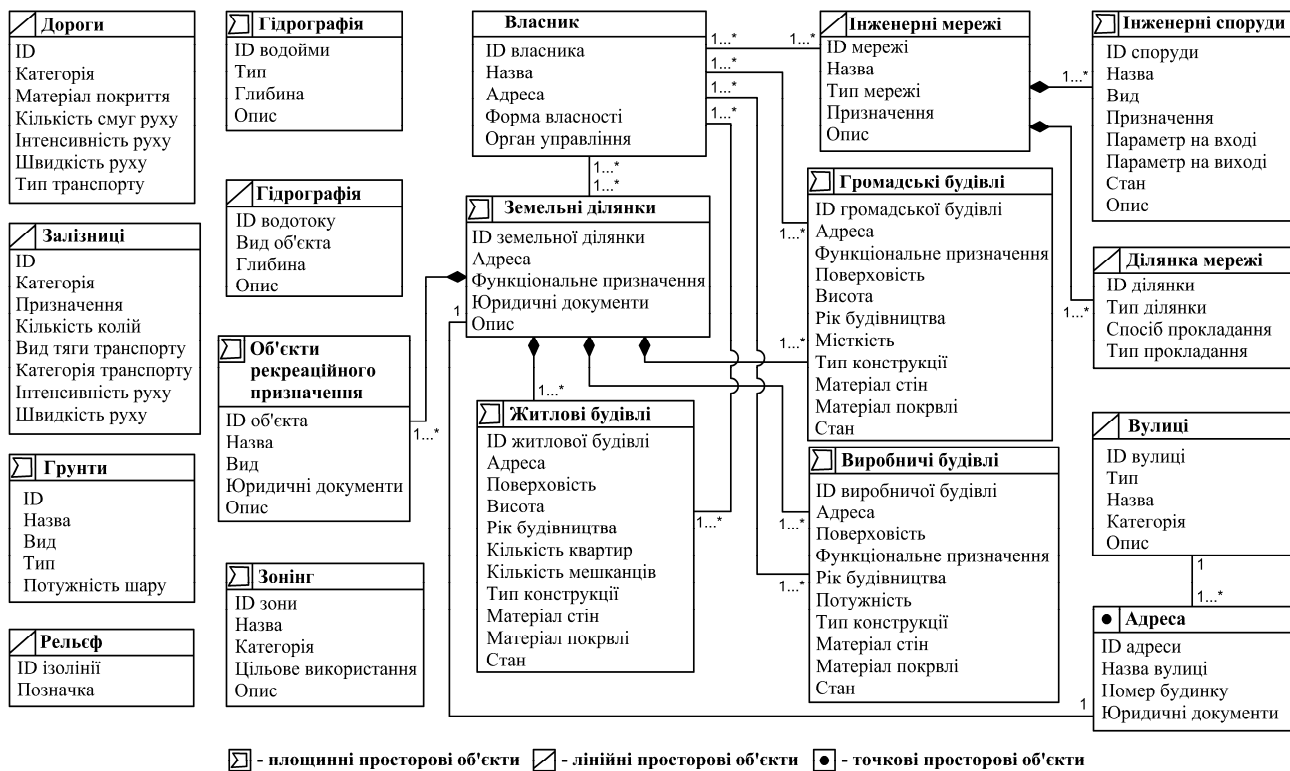


Рис. 1. Діаграма класів базового набору геопросторових даних системи моніторингу ЕМЗ населених пунктів

До профільного набору геопросторових даних (рис. 2) пропонується включити відомості про всі джерела ЕМВ і їхні санітарно-захисні зони, а також контрольні точки та результати розрахунків і вимірювання параметрів випромінювання, відносний рівень ЕМП та зони обмеження забудови

При цьому передбачено складання карт відносного рівня ЕМП як за результатами розрахунків згідно з затвердженою методикою [45], так і результатами вимірювання параметрів ЕМП, створюваних усіма джерелами на

території населеного пункту. Карти розрахункового відносного рівня випромінювання будуть використані для визначення місця розташування контрольних точок вимірювання напруженості поля та поверхневої щільності потоку енергії, а також на стадії планування розміщення нового устаткування, що є джерелами випромінювання. Карти фактичного відносного рівня випромінювання, складені за результатами вимірювання, є основою для встановлення зон обмеження забудови і уточнення меж санітарно-захисних зон.

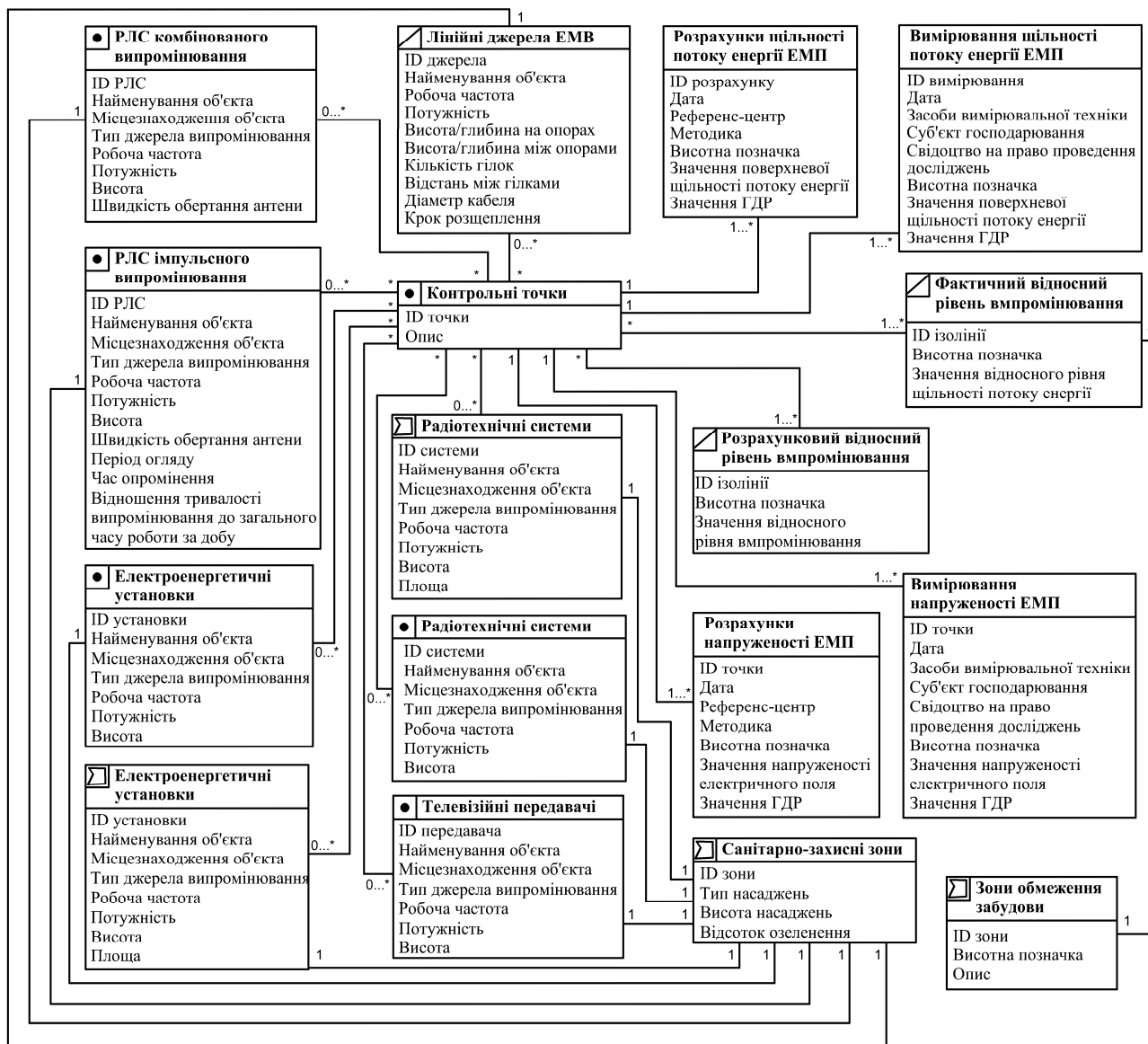


Рис. 2. Діаграма класів профільного набору геопросторових даних системи моніторингу ЕМЗ населених пунктів

Можливі зв'язки між об'єктами базового і профільного наборів даних показані на рис. 3.

Модель бази геопросторових даних моніторингу ЕМЗ території населених пунктів містить 225 атрибутів, з яких 114 атрибутів ввійшли до базового набору геопросторових даних (описують 18 класів об'єктів), а 111 атрибутів – до профільного набору геопросторових даних (описують 17 класів об'єктів). Слід зазначити, що

залежно від рівня розвитку інфраструктури геопросторових даних поселень деякі атрибути профільного набору даних (потужність, висота на опорах та ін.) можуть входити до складу базових наборів. Однак запропонований проєкт моделі може бути легко змінений з урахуванням складу геопросторових баз даних і специфіки населених пунктів, вимог місцевих або регіональних нормативно-правових актів тощо.

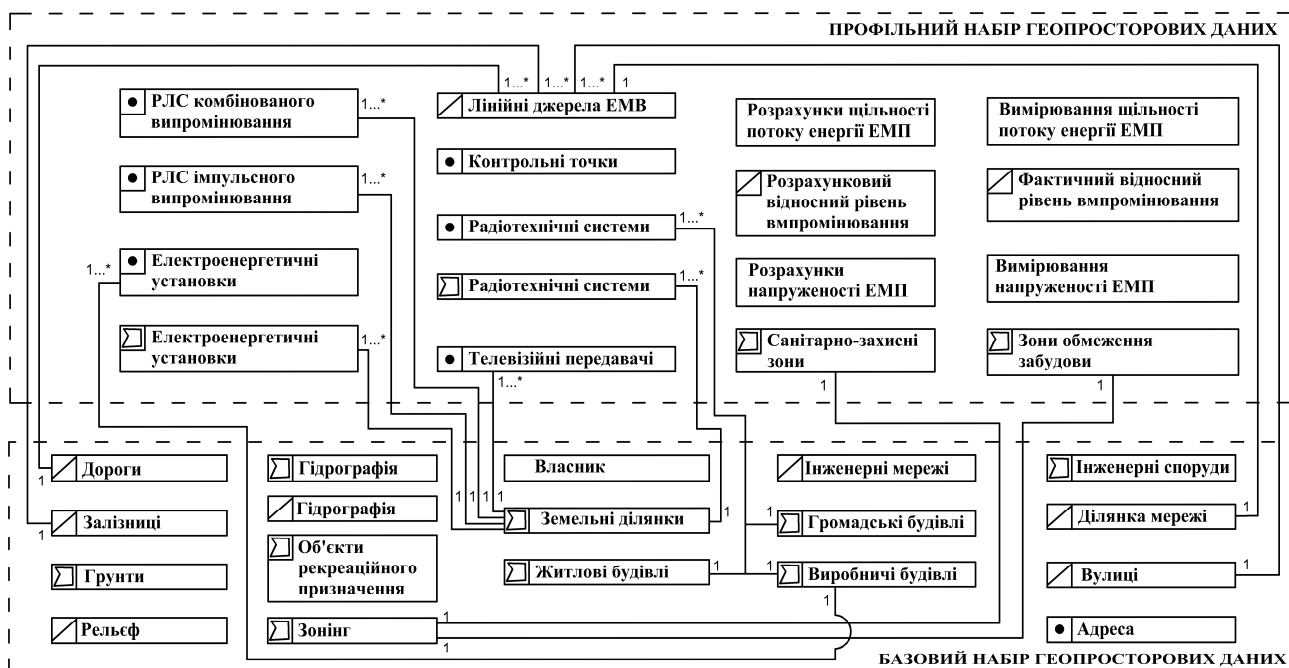


Рис. 3. Зв'язки між класами базового та профільного наборів геопросторових даних системи моніторингу ЕМЗ населених пунктів

Висновки. Проведені раніше вітчизняні та зарубіжні дослідження і досвід інформатизації систем моніторингу довкілля свідчать про доцільність використання ГІС для моніторингу ЕМЗ.

В Україні відсутні нормативно-правові акти, що регламентують процедуру здійснення моніторингу ЕМЗ, але санітарними нормами встановлені ГДР ЕМП для населення. За результатами аналізу предметної сфери розроблено концептуальну модель бази геопросторових даних системи моніторингу ЕМЗ поселень,

що містить 18 класів об'єктів базового набору геопросторових даних і 17 класів профільного набору геопросторових даних. Ця модель може бути доповнена чи змінена з урахуванням місцевих умов або нових вимог законодавства.

Запропонована модель може бути основою фізичного моделювання системи моніторингу ЕМЗ поселень, створення якої підвищить рівень обґрунтованості управлінських рішень при плануванні території поселення і для зменшення негативного впливу ЕМВ на людей і довкілля.

Список використаних джерел

1. Баран Б. А., Бубенщикова Г. Т., Хрящевський В. Н. Біологічна дія електромагнітного випромінювання. *Довкілля та здоров'я*. 2009. № 4. С. 43-46.
2. Hannah Ritchie and Max Roser (2018). Urbanization. *Published online at OurWorldInData.org*. URL: '<https://ourworldindata.org/urbanization>'.
3. Macri M. A., di Luzio and S. di Luzio. Biological Effects of Electromagnetic Fields. *International Journal of Immunopathology and Pharmacology* (May 2002). P. 95-105. URL: <https://doi.org/10.1177/039463200201500204>.

4. Sarika Singh, Neeru Kapoor. Health Implications of Electromagnetic Fields, Mechanisms of Action, and Research Needs, *Advances in Biology*. 2014. ol. 2014, Article ID 198609. 24 p. URL: <https://doi.org/10.1155/2014/198609>.
5. Torregrossa MV. Effetti biologici e sanitari dei campi elettrici e magnetici a frequenze estremamente basse [Biological and health effects on electric and magnetic fields at extremely low frequencies]. *Ann Ig.* 2005 Sep-Oct;17(5):441-53. Italian. PMID: 16353681.
6. Dong, Xinlin & Niu, Lihua & Wang, Dongjie & He, Yajing. (2015). A Study on the Influence of Electromagnetic Radiation on Nervous System. *MATEC Web of Conferences*. 22. 01004. 10.1051/mateconf/20152201004.
7. Селюк М. М., Потаскалова В. С. Вплив електромагнітних полів надвисокого діапазону на серцево-судинну систему. *Артеріальна гіпертензія*. 2009. № 5(7). URL: <http://www.mif-ua.com/archive/article/10683> (дата звернення 21.07.2022).
8. Mann K., Connemann B. & Röschke J. Cardiac autonomic activity during sleep under the influence of radiofrequency electromagnetic fields. *Somnologie* 9, 180–184 (2005). URL: <https://doi.org/10.1111/j.1439-054X.2005.00068.x>.
9. Olle Johansson. Disturbance of the immune system by electromagnetic fields – A potentially underlying cause for cellular damage and tissue repair reduction which could lead to disease and impairment. *Pathophysiology*. Vol. 16, Is. 2–3. 2009. P. 157-177. URL: <https://doi.org/10.1016/j.pathophys.2009.03.004>.
10. Redlarski G., Lewczuk B., Żak A., Koncicki A., Krawczuk M., Piechocki J., Jakubiuk K., Tojza P., Jaworski J., Ambroziak D., Skarbek Ł., Gradolewski D. The Influence of Electromagnetic Pollution on Living Organisms: Historical Trends and Forecasting Changes. *BioMed Research International*. 2015. Vol. 2015, Article ID 234098. 18 p. URL: <https://doi.org/10.1155/2015/234098> (дата звернення 22.07.2022).
11. Ozguner M., Koyu A., Cesur G. et al. Biological and morphological effects on the reproductive organ of rats after exposure to electromagnetic field. *Saudi Med J*. 2005. 26(3):405-410. PMID: 15806208
12. Belyavskaya N. A. Biological effects due to weak magnetic field on plants. *Adv Space Res*. 2004;34(7):1566-74. doi: 10.1016/j.asr.2004.01.021. PMID: 15880893.
13. Никифоров В. В., Сакун О. А., Бахарев В. С. Оцінка та прогнозування впливу шумового та електромагнітного забруднення на природно-заповідні та рекреаційні території. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2015. № 4 (93). С. 90-96.
14. Tkalec M., Malarić K., Pavlica M., Pevalek-Kozlina B., Vidaković-Cifrek Z. Effects of radiofrequency electromagnetic fields on seed germination and root meristematic cells of *Allium cepa* L. *Mutat Res*. 2009 Jan 31;672(2):76-81. doi: 10.1016/j.mrgentox.2008.09.022. Epub 2008 Nov 5. PMID: 19028599.
15. Думанський В. Ю. Гігієнічна оцінка електромагнітної ситуації та наукове обґрунтування вимог до її безпеки в сучасних населених місцях України: автореф. дис. ... д-ра мед. наук : 14.02.01. ДУ «Ін-т гігієни та мед. екології ім. О.М. Марзєєва» АМН України. Київ, 2009. 41 с.
16. Безверха А. П. Гігієнічна оцінка електромагнітного випромінювання, що створюється засобами транкінгового зв'язку. *Гігієна населених місць: зб. наук. праць*. Київ, 2017. № 67. С. 111-117.
17. Галак С. С. Гігієнічна оцінка електромагнітного випромінювання, що створюється базовими станціями та мобільними радіотелефонами стандарту DCS-1800. *Гігієна населених місць*. 2014. Вип. 64. С. 171-183.

18. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)1. Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz). Health Physics: May 2020. Vol. 118. Is. 5. P. 483-524. doi: 10.1097/HP.0000000000001210.
19. Haneda K. et al. «Chapter 2 – Radio propagation modeling methods and tools» in Inclusive Radio Communications for 5G and Beyond, London, U.K.:Academic, pp. 7-48, 2021, [online] Available: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128205815000080>.
20. Сотніков О. М., Дем'янчук Б. О. Характеристики поглинання хвиль середовищем з електромагнітними втратами. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2017. № 3(52). С. 88-92.
21. Hang Zhou. Modeling the atmospheric propagation of electromagnetic waves in 2D and 3D using fourier and wavelet transforms. Electromagnetism. Université Paul Sabatier – Toulouse III, 2018. URL: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01929593/document>.
22. Milanović J., Rimac-Drlje S., Majerski I. Radio wave propagation mechanisms and empirical models for fixed wireless access systems. Tehnički vjesnik. 2010.17(1). Str. 43-53. URL: <https://hrcak.srce.hr/50605>.
23. Corre Y., Lostanlen Y. Three-Dimensional Urban EM Wave Propagation Model for Radio Network Planning and Optimization Over Large Areas. IEEE Transactions on Vehicular Technology. Vol. 58, no. 7. Sept. 2009. P. 3112-3123. doi: 10.1109/TVT.2009.2016973.
24. Тихенко О. М. Методи захисту працюючих від впливу електромагнітних випромінювань ультрависоких та вищих частот. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2016. Вип. 32. С. 141-150. URL : http://nbuv.gov.ua/UJRN/pop_2016_32_18.
25. Panagopoulos D. J., Chrousos G. P. Shielding methods and products against man-made Electromagnetic Fields: Protection versus risk. Science of The Total Environment. 2019. Vol. 667. P. 255-262. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.344.
26. Majcher K., Musiał M., Pakos W., Rózański A., Sobótka M., Trapko T. Methods of Protecting Buildings against HPM Radiation – A Review of Materials Absorbing the Energy of Electromagnetic Waves. Materials (Basel). 2020. 13(23). 5509. doi: 10.3390/ma13235509.
27. Maity S., Singha K., Debnath P., Singha M. Textiles in Electromagnetic Radiation Protection. *Journal of Safety Engineering*. 2013. Vol. 2. No. 2. P. 11-19. doi: 10.5923/j.safety.20130202.01.
28. Dürrenberger G., Fröhlich J., Rööslı M., Mattsson M. O. EMF monitoring-concepts, activities, gaps and options. Int J Environ Res Public Health. 2014. Sep 11;11(9):9460-79. doi: 10.3390/ijerph110909460.
29. Bieńkowski P., Podlaska J., Zubrzak B. Electromagnetic field in the environment – estimation methods and monitoring. Medycyna Pracy. 2019;70(5):567-585. doi:10.13075/mp.5893.00840.
30. Запорожець О. І., Левченко Л. О. Засади електромагнітного моніторингу міста в умовах підвищення електромагнітного навантаження на довкілля. *Екологічна безпека та природокористування*. 2015. № 1(17). С. 29-34. URL: <https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/14/201517.pdf>.
31. Troisi F., Boumis M., Grazioso P. The Italian national electromagnetic field monitoring network. Annales des Télécommunications. 2008. 63. P. 97-108. DOI:10.1007/s12243-007-0011-4.
32. Ares-Pena F. J., Franceschetti G., Iodice A., Salas-Sánchez A. A. Simple and effective monitoring of the electromagnetic field in the smart cities arena, Radio Sci. 2016. 51. P. 1249–1262. doi:10.1002/2016RS006045.
33. Berna-Martinez J. V., Macia-Perez F., Sánchez-Bernabeu J. M. Monitoring and Prevention the Smart Cities. Int. J. Adv. Inf. Sci. Technol. 2014. 31. P. 60-67.

34. Кундельська Т. В., Микицей М. Т. Дослідження електромагнітного забруднення, ускладненого впливом базових станцій стільникового зв'язку, на урбанізованій території міста Івано-Франківська. *Екологічна безпека та природокористування*. 2017. 23 (1-2). С. 20-27. URL: <http://es-journal.in.ua/issue/view/9397>.
35. Шугуров О. О., Новосьолова А. П. Сучасний розподіл електромагнітних хвиль з частотою 2,4 ГГц на території м. Дніпра. *Ecology and Noospherology*. 2017. 28 (1-2). URL: <https://en.dp.ua/index.php/en/article/view/9>.
36. Cannuli A., Calabrò E., Caccamo M. T., Magazù S. A study of monitoring high frequency electromagnetic field pollution in urban areas. *RAD Conference Proceedings*. 2016. Vol. 1. P. 36-39. DOI:10.21175/RadProc.2016.10.
37. Думанський В. Ю., Біткін С. В. Про санітарно-гігієнічне картографування електромагнітної обстановки населених місць. *Актуальні питання гігієни та екології безпеки України: Зб. тез доповідей наук.-практ. конф. до 120-річчя народження академіка О. М. Марзєєва*. Київ, 2003. Вип. 5. С. 44-45.
38. Paniagua J. M., Rufo M., Jimenez A., Antolin A. The spatial statistics formalism applied to mapping electromagnetic radiation in urban areas. *Environ Monit Assess*. 2013. Jan;185(1). P. 311-22. doi: 10.1007/s10661-012-2555-7.
39. Liu J., Wei M., Li H., Wang X., Wang X., Shi S. Measurement and mapping of the electromagnetic radiation in the urban environment. *Electromagn Biol Med*. 2020. 39(1). PP. 38-43. doi: 10.1080/15368378.2019.1685540.
40. Rinaldi Antonio. A GIS-based system for electromagnetic risk management in urban areas. *J. Location Based Services*. 2009. 3 (1). P. 3-23. doi: 10.1080/17489720902776720.
41. Корнієнко І. В. Обґрунтування умов і сценаріїв геоінформаційного моделювання електромагнітного забруднення. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки» : науковий збірник*. Чернігів, 2012. № 4 (61). С. 213-218.
42. Alaboudi J. A., Hamza M. T., Hammadi A. M. and Afaj A. H. Using Geographical Information System for Electromagnetic Fields Environmental Pollution Mapping (Applied Study in Baghdad City). *Elixir Environ. & Forestry* 99 (2016). PP. 43109-43112. URL: https://www.academia.edu/40414765/Using_Geographical_Information_System_for_Electromagnetic_Fields_Environmental_Pollution_Mapping_Applied_Study_in_Baghdad_City_.
43. Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів: наказ Міністерства охорони здоров'я України від 19.06.1996 р. № 173. Дата оновлення: 07.03.2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text> (дата звернення: 11.08.2022).
44. Про затвердження державних санітарних правил та норм (ДСН 239-96): наказ Міністерства охорони здоров'я України від 01.08.1996 р. № 239. Дата оновлення: 22.01.2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text> (дата звернення: 11.08.2022).
45. Про затвердження Методики розрахунку розподілу рівнів електромагнітного поля: наказ Міністерства охорони здоров'я України від 29.11.2013 р. № 1040. Дата оновлення: 10.01.2014. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text> (дата звернення: 11.08.2022).
46. Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення: Закон України від 24.02.1994 р. № 4004-XII. Дата оновлення: 14.01.2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12#Text> (дата звернення: 11.08.2022).

Козарь Валентин Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры гражданской безопасности, охраны труда, геодезии та землеустройства, Кременчужский национальный университет имени Михаила Остроградского. ORCID iD: 0000-0003-4084-3507. E-mail: v.kozar@meta.ua.

Бахарев Володимир Сергійович, доктор технічних наук, доцент кафедри цивільної безпеки, охорони праці, геодезії та землеустрою, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. ORCID iD: 0000-0001-9312-654X. E-mail: v.s.baharev@gmail.com.

Гальченко Надія Павлівна, кандидат біологічних наук, доцент кафедри цивільної безпеки, охорони праці, геодезії та землеустрою, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. ORCID iD: 0000-0003-2659-177X. Тел.: +38 (067) 270-42-90. E-mail: nadingal9@gmail.com.

Дорожко Євген Вікторович, кандидат технічних наук, доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою, Харківський національний автомобільно-дорожній університет. ORCID iD: 0000-0003-2894-2131. E-mail: evgeniy.dorozhko@gmail.com.

Kozar Valentyn Ivanovich, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Civil Safety, Labor Protection, Geodesy and Land Management, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University. ORCID iD: 0000-0003-4084-3507. E-mail: v.kozar@meta.ua.

Bakhariev Volodymyr Serhiiiovych, Dr. Sc. (Tech.), Associate Professor; Department of Civil Safety, Labor Protection, Geodesy and Land Management, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University. ORCID iD: 0000-0001-9312-654X. E-mail: v.s.baharev@gmail.com.

Halchenko Nadiia Pavlivna, PhD (Biol.), Associate Professor; Department of Civil Safety, Labor Protection, Geodesy and Land Management, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University. ORCID iD: 0000-0003-2659-177X. E-mail: nadingal9@gmail.com.

Dorozhko Yevhen Viktorovych, PhD (Tech.), Associate Professor; Department of Road Design, Geodesy and Land Management, Kharkiv National Automobile and Highway University. ORCID iD: 0000-0003-2894-2131. E-mail: evgeniy.dorozhko@gmail.com.

Статтю прийнято 20.12.2022 р.