

Корисна модель належить до галузі геоекологічного моніторингу, систем екологічної безпеки та рекультивації земель у постконфліктних регіонах, зокрема до автоматизованих пристроїв виявлення підземних об'єктів за допомогою електромагнітних сенсорів.

Відомі пристрої для виявлення підземних об'єктів, що базуються на технологіях георадарів (GPR) або електромагнітної індукції (EMI), при яких здійснюються вимірювання параметрів середовища та фіксацію сигналів від металевих і неметалевих об'єктів.

Однак такі рішення характеризуються обмеженнями за точністю та швидкістю обробки інформації в неоднорідних середовищах, що ускладнює оперативне прийняття рішень під час польового обстеження.

Як аналог відоме запатентоване рішення за Патентом США № 12468027 (US2023108634 (A1) — 2023-04-06), у якому реалізовано спосіб і систему виявлення підземних трубопроводів на основі георадара з формуванням набору даних GPR B-scan та застосуванням моделі глибокого навчання типу YOLOv3 для ідентифікації гіперболічних сигнатур із подальшою локалізацією положення трубопроводу. Таке рішення орієнтоване на задачі детекції трубопроводів за характерними гіперболічними відбиттями та використовує окремі засоби локалізації координат.

Як аналог відоме запатентоване рішення за Патентом США № 11557115 (US2022237909 (A1) — 2022-07-28), у якому застосовано багатовисновкову літальну платформу (безпілотний літальний апарат) із поєднанням георадара, металодетектора та тепловізійного каналу, при цьому дані перетворюються у відповідні представлення (радарограма/теплове зображення/"металограма") та обробляються згортковими нейронними мережами з отриманням імовірнісних оцінок і формуванням узагальненої імовірності наявності підземного об'єкта. Таке рішення потребує стабілізації сенсорного блоку на літальній платформі та передбачає багатоканальну сенсорну конфігурацію.

Як аналог відоме запатентоване рішення за Патентом США № 11579286 (US2021080565 (A1) — 2021-03-18), у якому застосовано поверхнево-проникаючий радар (SPR) у складі транспортного засобу з аналізом отриманих SPR-зображень предиктором, попередньо навченим для розпізнавання підповерхневих структур, із можливістю зіставлення розпізнаних структур із координатами та формуванням електронної карти підповерхневих структур для задач локалізації та навігації. Таке рішення фокусується на покращенні точності локалізації/навігації та ідентифікації підповерхневих структур у контексті руху транспортного засобу.

Однак наведені аналоги характеризуються функціональними обмеженнями під час експлуатації в задачах рекультивації земель, зокрема за умов змінних ґрунтових характеристик і складного рельєфу, коли потрібні автономне польове виконання, уніфікована сенсорна конфігурація на мобільній платформі та інтегрована інтелектуальна обробка даних у реальному часі з просторовим поданням результатів без залучення зовнішніх обчислювальних засобів як обов'язкового компонента.

Найближчого аналога заявнику невідомо.

В основу корисної моделі поставлена задача створення автономної системи нейромережевого виявлення підземних об'єктів на основі електромагнітних сенсорів для рекультивації земель, яка містить мобільну платформу з послідовно розташованими та електрично з'єднаними функціональними модулями сенсорювання, попередньої обробки, аналізу, керування рухом і візуалізації, та забезпечує підвищення ефективності виявлення підземних об'єктів завдяки інтеграції сенсорного модуля та аналітичного блоку в єдиному автономному виконанні з просторовим поданням результатів.

Поставлена задача вирішується тим, що автономна система нейромережевого виявлення підземних об'єктів на основі електромагнітних сенсорів містить мобільну платформу, на якій послідовно розташовані та електрично з'єднані модуль електромагнітних сенсорів, виконаний у вигляді індукційного датчика та георадара з робочою частотою 450 МГц, модуль попередньої обробки сигналів та модуль аналізу даних, що містить обчислювальний блок та енергонезалежну пам'ять з параметрами нейромережевого класифікатора. При цьому модуль аналізу даних електрично з'єднаний із блоком керування рухом мобільної платформи та з модулем збереження і візуалізації результатів. Причому електричні з'єднання виконані за схемою: модуль електромагнітних сенсорів - модуль попередньої обробки сигналів - модуль аналізу даних з відгалуженням від модуля аналізу даних до блоку керування рухом і до модуля збереження і візуалізації результатів, а між модулем аналізу даних і блоком керування рухом виконано зворотний електричний зв'язок.

На відміну від наведених аналогів, запропонована система поєднує в одному автономному виконанні на мобільній платформі індукційний датчик та георадар із вбудованими модулями попередньої обробки, нейромережевого аналізу та візуалізації результатів.

Завдяки цьому забезпечується підвищення оперативності обробки та інтерпретації даних у польових умовах із формуванням просторових карт виявлених підземних об'єктів.

Функціональна робота об'єкта полягає в тому, що під час обстеження території модуль електромагнітних сенсорів реєструє сигнали від підземних об'єктів і параметри ґрунту, модуль попередньої обробки виконує фільтрацію та нормування виміряних даних, модуль аналізу виконує виділення ознак і класифікацію аномалій на основі нейромережевої обробки, а блок керування рухом коригує маршрут з урахуванням отриманих результатів; для запуску та стабільної роботи

допускається попереднє налаштування параметрів обробки під конкретні типи ґрунтів та умови обстеження.

Суть корисної моделі пояснює креслення, на якому подано схематичну структуру автономної системи нейромережевого виявлення підземних об'єктів на основі електромагнітних сенсорів для рекультивації земель.

Позначення елементів: 1 - мобільна платформа; 2 - модуль електромагнітних сенсорів; 3 - модуль попередньої обробки сигналів; 4 - модуль аналізу даних; 5 - блок керування рухом; 6 - модуль збереження та візуалізації результатів.

Лінії зв'язку:

→ — електричні та сигнальні з'єднання;
↔ — зворотний зв'язок (обмін сигналами).

Елементи з'єднані послідовно 2-3-4 з подальшим відгалуженням від 4 до 5 та 6, при цьому зворотний зв'язок між 4 і 5 реалізує обмін керувальними сигналами для корекції траєкторії руху під час збору даних.

Для демонстрації функціонування системи наведено приклад застосування під час обстеження території з підозрою на наявність підземних об'єктів. Мобільну платформу оснащують індукційним датчиком типу EM38 та георадаром з робочою частотою 450 МГц ($4,50 \times 10^8$ Гц); зібрані дані надходять до модуля попередньої обробки для фільтрації та нормалізації, далі модуль аналізу виділяє аномальні зони, після чого блок керування уточнює маршрут обстеження, а результати відображають у вигляді двовимірних та тривимірних карт зон імовірного розташування підземних об'єктів.

За умов випробувань на полігоні з заглибленими об'єктами система виконувала ідентифікацію до глибини 2 м з точністю понад 90 % за умови коректного налаштування модулів для різних типів ґрунтів, у результаті чого підтверджується досягнення заявленого технічного результату.

