

Корисна модель належить до сфери інженерної геодезії, систем автоматизованого моніторингу і контролю об'єктів, що зазнають техногенного впливу. Її функція - це тривалий нагляд за зміщеннями земної кори, а також за будівельними конструкціями в потенційно небезпечних областях: поблизу хвостосховищ, гребель, гірничих відвалів, кар'єрів, елементів інфраструктури та інших об'єктів. Цей пристрій передбачено для використання у наукових дослідженнях, інженерно-геологічному контролі, спостереженні за зсувами, осіданнями або іншими геодинамічними явищами. Система розроблена для використання в польових умовах та не потребує постійної підтримки. Компактний розмір і універсальність конструкції дозволяють використовувати її як окремий пристрій, так і у складі мережі реперів для створення комплексної системи моніторингу.

Відомий репер, що складається з поплавкового механізму, у якому шварний дріт у нижній частині жорстко з'єднаний з якірним елементом, а у верхній - з тороподібним пустотілим поплавцем, який вільно переміщується у резервуарі з рідиною під захисним ковпаком. У верхній частині конструкції розміщено вісь оптичного волокна, що з'єднана з волоконно-оптичною матрицею та перетворювачем світлового потоку в електричний імпульс. Отриманий сигнал через блок перетворення електричного сигналу в радіосигнал передається до станції збору інформації. Така система дає змогу фіксувати мікропереміщення поверхні Землі відносно корінних порід і передавати результати у межах дії приймача (патент UA 48553 на корисну модель, МПК G01C 15/00, G01C 15/02, опубл. 15.08.2002, Бюл. № 8).

Основним недоліком пристрою є складність конструкції, що містить ємність з рідиною, систему з поплавками та оптоволоконний датчик. Необхідність використання рідини зумовлює потребу в герметичності, сезонному нагляді, захисті від замерзання в зимовий період, і, звісно, плановому технічному обслуговуванні. До того ж, механіко-оптичний принцип роботи є чутливим до вібрацій, забруднень і температурних перепадів.

Конструкція не передбачає внутрішньої системи збереження координат у цифровій формі, і не взаємодіє з Global Navigation Satellite System - глобальною системою супутникової навігації, яка використовує мережу супутників для визначення точного місцезнаходження, швидкості та часу для об'єктів на Землі, як на суші, так і на воді та в повітрі (GNSS-системи).

Передача інформації можлива лише на локальну станцію, що обмежує потенціал для масштабування розробки. Отримані сигнали передаються на наземну станцію радіоканалом. Система стаціонарна, реалізує складний механіко-оптичний принцип та вимагає регулярного технічного обслуговування. Відсутність можливості зберігати дані безпосередньо на пристрої, як і синхронізувати їх із загальними системами координат. Попри інноваційність для свого часу, технологія втрачає актуальність у сучасних умовах цифрового моніторингу. Відсутність автономного живлення та власного контролера суттєво знижує ефективність аналога для безперервного спостереження. Корисна модель розв'язує ці проблеми, замінюючи складні механічні компоненти на сучасні електронні вузли.

Задачею корисної моделі є удосконалення конструкції репера шляхом інтеграції в його корпус GNSS-модуля, контролера, логгера, модуля зв'язку та автономної системи живлення з локальним зберіганням даних і можливістю їх подальшої передачі у зовнішній блок.

Технічний результат від використання корисної моделі полягає у тому, що вона дозволяє забезпечити підвищену точність, надійність та безперервність моніторингу, на відміну від аналога, у якому архівація результатів здійснювалася поза межами репера.

Поставлена задача вирішується тим, що реперна система для моніторингу деформацій, що містить герметизований корпус з якірним елементом, у якому розташовані взаємопов'язані функціональні вузли - GNSS-модуль, який електрично та інформаційно з'єднаний із контролером, виконаним з можливістю обробки даних та керування процесами, підключений інтерфейсно до логгера, виконаним з можливістю передавання та реєстрації вимірювань, а також до модуля зв'язку, виконаним з можливістю організації комунікації, при цьому логгер, виконаний з можливістю приймання даних від контролера та накопичення їх у локальній пам'яті, а модуль зв'язку електрично підключений до зовнішньої антени, виконаної з можливістю передачі зареєстрованих даних до зовнішнього блока зберігання інформації, при цьому всі функціональні вузли репера електрично пов'язані до внутрішньої системи живлення, до якої підключене зовнішнє резервне джерело живлення.

Реперна система для моніторингу деформацій ілюструється структурною схемою.

Реперна система містить функціональні блоки, які взаємодіють між собою для забезпечення повного циклу збору, обробки та зберігання координатної інформації. Серед них є GNSS-модуль (1), що забезпечує безперервне або періодичне визначення координат. Контролер (2) відповідає за обробку вхідної інформації, керує процесами запису, заощадження електроенергії та запускає передавання даних. Логгер (3) виступає буфером для накопичення даних перед архівацією їх у секції збереження. Система живлення (4) гарантує безперебійну роботу всіх компонентів, забезпечуючи надійність в умовах використання на відкритому повітрі. Модуль зв'язку (5) передбачає можливість передавання інформації через LoRa, LTE чи інші протоколи. Антена зв'язку (6) забезпечує радіоканал модуля зв'язку для відправлення даних. Блок зберігання інформації (7) зберігає історію координат

репера разом із показниками якості прийому (кількість супутників, рівень сигналу) та телеметрією пристрою (напруга, температура, журнали помилок), забезпечуючи доступ до архіву, верифікації вимірювань і аудиту подій. Контролер (2), логгер (3) і систему живлення (4) розміщено в герметичному блоці репера (8), механічно з'єднаному з якірним елементом - якорем (9), що занурюється в ґрунт. Джерело живлення (10) у вигляді сонячної панелі виконує функцію основного енергопостачальника, забезпечуючи підзаряджання внутрішнього акумулятора та стабільне живлення всіх функціональних модулів репера через систему живлення. Схема передбачає ефективну взаємодію всіх складових частин без втрати даних.

Корисна модель складається з конструктивно і функціонально взаємопов'язаних компонентів:

GNSS-модуль (1) - це супутниковий приймач, встановлений у верхній частині пристрою або безпосередньо під антеною. Його завдання - отримання сигналів глобальних супутникових навігаційних систем (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) та обчислення координат з високою точністю. GNSS-модуль підключений до контролера (2) через цифровий інтерфейс передачі даних (UART, I2C або SPI), що дозволяє передавати координати в реальному часі.

Контролер (2) - мікропроцесорний блок (наприклад, на базі STM32, ESP32 або Raspberry Pi CM), який є центральним вузлом керування системою. Він приймає координатні дані від GNSS-модуля, обробляє їх, формує пакети даних, керує живленням пристрою та взаємодіє з усіма іншими модулями.

Логгер (3) - модуль, що забезпечує буферне збереження даних, отриманих від контролера. Він може бути реалізований у вигляді вбудованої пам'яті типу eMMC, або знімної карти microSD. Логгер пов'язаний з контролером по шині пам'яті або через файл-систему, підтримує структурування даних за часовими мітками.

Система живлення (4) забезпечує стабільну подачу напруги до всіх компонентів пристрою. Вона містить у собі стабілізатор, захист від перенапруги, модуль живлення від зовнішнього джерела або внутрішнього джерела енергії (наприклад, порт живлення 5/12В). Система живлення також забезпечує безпечне відключення в разі перенавантаження або аварійних режимів.

Модуль зв'язку (5) - електронний блок, що відповідає за бездротову передачу даних. Він може працювати у форматах LoRaWAN, NB-IoT або LTE-M, залежно від специфіки регіону. Зв'язок здійснюється між модулем зв'язку та контролером по UART/AT-командам або TCP/IP-протоколах, якщо підтримується стеками.

Антену зв'язку (6) - забезпечує радіоканал між модулем зв'язку репера та зовнішньою інфраструктурою, підтримує робочі діапазони обраного протоколу, встановлюється на опорний поверхні з урахуванням заземлення/екранування, під'єднується через кабель із відповідним роз'ємом (SMA/TNC) та містить захист від вологості й вібрацій для стабільної роботи в польових умовах.

Блок зберігання інформації (7) - незалежний цифровий накопичувач або інтегрований архіватор, що містить довготривале зберігання історичних координат і службових параметрів (напруга, температура, помилки зв'язку). Підключений до контролера безпосередньо або реалізований як частина логгера з резервною пам'яттю.

Блок репера (8) - центральний вузол, що містить контролер, логгер і систему живлення; забезпечує керування режимами, обробку та буферизацію даних. Захищений механічною захисною оболонкою, яка виготовлена з антивандального матеріалу (нержавіюча сталь, литий алюміній, полімери). Має ступінь захисту не нижче IP67. Внутрішнє компонування передбачає термоізоляцію, захист від вологості, пилу, УФ-випромінювання. Монтаж компонентів виконаний на монтажній платі або у вигляді модульної компоновки.

Якір репера (9) - металева або бетонна частина, що занурюється в незбурений ґрунт і забезпечує стійке фіксування пристрою в конкретній точці спостереження. Вона передає фактичне положення репера на GNSS-модуль, забезпечуючи точність і сталість вимірювання. Монтується з використанням різьбового або зварного з'єднання з корпусом.

Джерело живлення (10) виконане у вигляді зовнішнього енергомодуля на основі фотоелектричної панелі. Через контролер заряду воно подає стабілізовану постійну напругу на внутрішню систему живлення репера та забезпечує підзаряджання її акумуляторів. Модуль містить вузли стабілізації та захисту від перевантаження, короткого замикання та перенапруги. Вихідні параметри джерела живлення узгоджені зі споживанням GNSS-модуля, контролера, логгера та модуля зв'язку. Електричний зв'язок із корпусом репера реалізовано як захищене кабельне з'єднання. Сам енергомодуль конструктивно рознесений із репером, установлений у захищеному боксі та обладнаний індикацією станів для оперативного контролю.

Усі вищезазначені елементи пов'язані між собою відповідними електричними та логічними інтерфейсами. Компактне і герметичне компонування забезпечує мінімальну залежність від зовнішніх факторів та дозволяє експлуатувати пристрій у польових умовах тривалий час без втручання оператора.

Реперна система функціонує таким чином. Перед початком моніторингу обирається стійке місце встановлення реперної станції з урахуванням ґрунтової основи, видимості супутників та рознесення елементів. Якір репера занурюється в ґрунт і фіксує корпус блока репера (8) на жорсткій опорі для

довготривалої стабільності вимірювань. На корпусі монтується GNSS-модуль (1) з урахуванням відсутності перешкод у небосхилі, а антена зв'язку (6) встановлюється так, щоб мінімізувати взаємні завади.

Зовнішнє джерело живлення на сонячній панелі (10) розміщується у безпечному місці, прокладається захищений кабель до вводу корпусу та перевіряється заряд внутрішньої системи живлення (4) для забезпечення автономної роботи в періоди низької інсоляції. Після подачі живлення система починає поступову ініціалізацію: контролер (2) виконує самодіагностику, перевіряє рівень напруги, комунікацію з GNSS-модулем (1), логгером (3) і модулем зв'язку (5), а система живлення (4) вирівнює напругу для електронних компонентів.

Далі задаються параметри опитування GNSS-модуля (1): частота вимірювань, формати даних, часові мітки та політика запису логгера (3). Модуль зв'язку (5) конфігурується для періодичної та подієвої передачі даних через антену (6) до зовнішнього блока зберігання інформації (7).

У штатному режимі GNSS-модуль (1) безперервно приймає сигнали супутників і формує вимірювання, які передаються на контролер (2) для фільтрації, контролю якості та обчислення координат. Контролер формує структуровані записи з часовою прив'язкою та показниками точності, передає їх до логгера (3) для локального зберігання та керує енергоспоживанням вузлів через систему живлення (4), переходячи в енергоощадні профілі за потреби.

Зовнішнє джерело живлення (10) через контролер заряду підтримує накопичення енергії та стабілізовану подачу на систему живлення (4), яка розподіляє живлення на GNSS-модуль (1), контролер (2), логгер (3) і модуль зв'язку (5). Вбудовані захисти запобігають перенапрузі, короткому замиканню та глибокому розряду, а контролер веде моніторинг напруг/струмів та адаптує режими опитування і передачі для забезпечення безперервної роботи.

Дані, накопичені логгером (3), у задані інтервали або при подіях передаються модулем зв'язку (5) до зовнішнього блока зберігання інформації (7), де здійснюється довготривала архівація, контроль якості та формування резервних копій. У зовнішньому блоці дані фільтруються, коригуються та перетворюються у часові ряди зміщень реперної точки, з розрахунком індикаторів стабільності за обраними критеріями. При необхідності результати повертаються у станцію як оновлення порогів, частот опитування або профілів передачі.

Кінцевим продуктом є верифікований часовий ряд координат або векторів зміщення репера з оцінками точності та показниками якості, сформований із локальних записів логгера (3) та централізованої архівації у блоці зберігання інформації (7), що дозволяє відстежувати тренди деформацій, порівнювати епохи спостережень та генерувати сповіщення при перевищенні заданих порогів.



