

Корисна модель належить до гірничодобувної промисловості, зокрема до галузі відкритих гірничих робіт, і стосується способів контролю стійкості відвалів гірських порід, що формуються на земній поверхні.

Корисна модель призначена для контролю стійкості укосів, терас та окремих ділянок відвала в процесі його нарощування, а також після завершення формування відвальної призми упору. Вона може використовуватися при експлуатації як внутрішніх, так і зовнішніх відвалів на залізничних, вугільних та інших кар'єрах, де на земній поверхні створюються масиви великої висоти та протяжності, нестійких або тимчасово стійких порід.

Спосіб особливо ефективний для застосування в умовах, коли порода, що складається, має різну міцність, крупність і вологість, що призводить до неоднорідного розподілу внутрішніх напруг і може викликати зміщення масиву.

Пропонований спосіб може застосовуватися не тільки при формуванні промислових відвалів, але і при створенні техногенних насипів, рекультиваційних споруд, земляних дамб та териконів, які розташовані на земній поверхні. Спосіб забезпечує можливість довготривалого спостереження за станом породних масивів та раннього виявлення нестійких зон, що підвищує рівень безпеки гірничих робіт та знижує ризик виникнення аварійних обвалів та зсувів порід.

Відомий спосіб контролю стійкості відвала, суть якого полягає у контролі стійкості внутрішнього відвала при його формуванні з використанням металевих хвилеводів, що виконують функції датчиків акустичної емісії. Хвилеводи різної довжини укладаються за профілями спостережних станцій і служать для реєстрації сигналів, що виникають при терті шматків породи між собою і об поверхню хвилеводів. Отримані імпульси перетворюються на п'єзоелектричний геофон і фіксуються самописцем. Шляхом порівняння поточних частот сигналів із критичними визначають початок та розвиток призми можливого зсуву масиву порід [Патент України № 33717, опубл. 10.07.2008].

Ряд суттєвих недоліків відомого способу суттєво обмежує його практичне застосування.

Спосіб не забезпечує точної просторової локалізації джерела деформації: акустичні імпульси поширюються хвилеводами і породою, накладаються і спотворюються, внаслідок чого неможливо однозначно визначити координати зони виникнення тріщинотворення або глибину активної призми зсуву.

Експлуатаційна надійність способу низька: металеві елементи схильні до корозії, механічних пошкоджень і пластичних деформацій під вагою відвалів, що з часом змінює їх акустичні властивості і вимагає частої заміни датчиків.

Спосіб не забезпечує безперервного моніторингу в реальному часі, оскільки вимірювання проводяться переважно дискретно під час відсилення та ущільнення. Це перешкоджає виявленню деформаційних процесів, що повільно розвиваються, між циклами спостережень.

Спосіб вимагає наявності кабельної інфраструктури та ручного збору даних, що обмежує його застосування у віддалених, важкодоступних районах та збільшує витрати на організацію спостережень.

Спосіб недостатньо інтегрований: він не передбачає поєднання акустичних вимірювань із незалежними оптичними, лазерними або геодезичними вимірами для перехресної верифікації сигналів, що знижує надійність інтерпретації отриманих показників.

Найбільш близьким рішенням, вибраним як найближчий аналог, є спосіб контролю стійкості відвала гірських порід, який включає розміщення засобів контролю в тілі відвала, фіксацію стану поверхні відвала та передачу сигналів про стан поверхні відвала до центру реєстрації з подальшою оцінкою поточного стану стійкості відвала та прогнозування можливих зсувів [Патент України № 51527 на корисну модель, опубл. 26.07.2010].

Спосіб полягає в установці металевих хвилеводів у тілі відвала - горизонтально в основі та вертикально в наступних ярусах, а також у свердловинах по периметру відвала, заповнених щебенем. Хвилеводи підключають до геофонів для реєстрації акустичної емісії, яка виникає під час деформації масиву. Порівняння отриманих сигналів із критичними значеннями дозволяє оцінювати поточний стан стійкості відвала та прогнозувати можливі зміщення.

Відомий спосіб має ряд істотних недоліків, що обмежують його ефективність та достовірність моніторингу. Насамперед спосіб заснований на локальних вимірах акустичних сигналів, що не дозволяє формувати безперервне тривимірне поле деформацій.

Розміщення хвилеводів в окремих точках не забезпечує просторової кореляції даних і не відображає розподілу напруги по всьому об'єму відвала. Внаслідок цього діагностика проводиться з низькою роздільною здатністю, а можливі зсуви між точками спостережень залишаються незафіксованими.

Істотним недоліком є залежність точності реєстрації сигналів акустичної емісії стану середовища навколо хвилеводів. При порушенні контакту між металевим хвилеводом та породною масою, при зміні вологості, пористості або температурних коливань виникають паразитні шуми та згасання сигналів.

Для способу потрібно буріння безліч свердловин по периметру відвала, подальшим встановленням хвилеводів, заповнення їх гравієм та багаторазове проведення вимірювань. Такі операції вимагають залучення спеціалізованої техніки, кваліфікованого персоналу та значних витрат часу, що робить метод малоефективним при необхідності оперативного контролю.

Спосіб не забезпечує автономності та безперервності спостережень: вимірювання проводяться періодично після стабілізації показників акустичної емісії, що виключає можливість виявлення миттєвих змін стану масиву. Відсутність дистанційної передачі не дозволяє використовувати систему для раннього попередження про аварійні деформації.

Основна задача, яка вирішується корисною моделлю, полягає у забезпеченні комплексного контролю стійкості відвала в реальному часі з високою точністю локалізації деформаційних процесів, незалежністю від погодних умов та можливістю тривалої автономної роботи без необхідності втручання обслуговуючого персоналу.

Корисна модель вирішує цю задачу шляхом створення тросової трикутної конструкції, закріпленої на пікетах, встановлених на заданих місцях відвала. Така геометрична конфігурація забезпечує можливість безперервного відстеження навіть найменших зсувів конструкції, що відображають реальну зміну положення елементів відвала.

Однією з ключових задач, які вирішуються корисною моделлю, є забезпечення автономності та надійності системи. Для цього конструкція забезпечена герметичною підйомною оболонкою, наповненою легким газом, що компенсує вагу вимірювальних блоків і стабілізує їх положення.

Не менш важливою задачею є організація оперативної передачі та їх аналізу в реальному часі. Використання радіоканалу або оптоволоконної лінії зв'язку з GPS-синхронізацією дозволяє безперервно передавати показники датчиків та координати лазерної мітки до центру моніторингу. Там виконується обробка інформації, побудова часових рядів, виявлення аномальних змін та формування попереджувальних сигналів при перевищенні порогових значень деформації. Це забезпечує можливість раннього попередження про небезпечні процеси та вжиття профілактичних заходів до виникнення аварійної ситуації.

Задачею є також забезпечення адаптивності системи до умов експлуатації, що змінюються. Конструкція легко переміщається та переналаштовується при зміні конфігурації відвала або місця контролю. Пікети та троси виготовляються з антикорозійних та високоміцних матеріалів, що гарантує довговічність та стійкість до агресивного середовища.

Використання лазерного випромінювача та камери реєстрації дозволяє формувати точне візуально-координатне уявлення про положення конструкції. Об'єднання оптичних та тензометричних даних збільшує достовірність визначення зсувів та зменшує ймовірність помилкових спрацьовувань.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що у способі безперервного моніторингу деформацій насипного масиву відвала гірських порід при відкритій розробці родовищ корисних копалин, що включає розміщення засобів контролю в тілі відвала, фіксацію стану поверхні відвала і передачу сигналів про стан поверхні відвала в центр реєстрації, оцінку поточного стану стійкості відвала і прогнозування можливих зсувів, згідно з корисною моделлю, встановлюють на поверхні відвала не менше трьох пікетів, які виконують з антикорозійного матеріалу з анкерною фіксацією в ґрунті, при цьому з'єднують вершини пікетів тросами високої міцності та низьким коефіцієнтом розтягування.

Протилежні кінці тросів, які мають датчики натягу тросів з автономними джерелами живлення, з'єднують з вершинами трикутної просторової конструкції, в геометричному центрі якої закріплюють лазерний випромінювач, причому трикутну просторову конструкцію з лазерним випромінювачем розміщують над поверхнею відвала за допомогою герметичної підйомної оболонки, яку оснащують системою регулювання тиску з автоматичним клапаном.

Лазерним випромінювачем направляють промінь вертикально вниз з довжиною хвилі в діапазоні 500–550 нанометрів; при цьому в зоні падіння лазерного променя встановлюють пристрій реєстрації світлової мітки, який синхронізують з GPS-таймером і забезпечують безперервну фіксацію координат лазерної мітки, наприклад на фотодетекторній матриці, та здійснюють передачу отриманих даних у центр моніторингу.

Реєструють значення натягу тросів усіма датчиками, розраховують зміну довжини тросів і просторове положення трикутної конструкції, при цьому визначають вектор зміщення трикутної конструкції в просторі, вимірюють координати лазерної мітки, наприклад на поверхні фотодетекторної матриці, порівнюють координати з прийнятими базовими значеннями, визначають відносне зміщення насипного масиву гірських порід відвала в горизонтальній і вертикальній площинах, а також обчислюють амплітуду та швидкість деформацій по осях X, Y, Z.

Порівнюють отримані значення із встановленими порогоми допустимих деформацій, а при перевищенні порогів формують тривожний сигнал, відправляють його в диспетчерський пункт і на мобільний інтерфейс оператора, архівують всі параметри в базі даних системи моніторингу, візуалізують параметри зміщення та натягу тросів у режимі реального часу, відображають графіки та сигнали тривоги на інтерфейсі користувача, аналізують тренди зміни координат лазерної мітки у часі

та виявляють зони потенційної нестабільності відвала, накопичують історію деформаційних процесів у прив'язці до геоданих та змінюють просторове положення лазерного випромінювача при зміні геометрії відвала.

Технічний результат, що досягається внаслідок використання корисної моделі, полягає у створенні принципово нового, високоточного й автономного засобу безперервного контролю за стійкістю насипного масиву відвала гірських порід при відкритій розробці родовищ корисних копалин, який забезпечує раннє виявлення деформацій, кількісну оцінку їх параметрів і підвищення рівня промислової та екологічної безпеки гірничих робіт.

Застосування системи дозволяє перейти від непрямих і локальних методів спостереження до просторово орієнтованого моніторингу, у якому деформації масиву реєструються не за вторинними фізичними ефектами, а за фактичною зміною геометрії конструкції відвала. Використання системи пікетів, тросів та підвішеної трикутної конструкції формує стійку вимірювальну геодезичну мережу, чутливу до найменших зсувів порід, включаючи повільні повзучі деформації, недоступні для візуального контролю.

Істотним технічним результатом є підвищення точності визначення напрямку та масштабу зсуву порід. Одночасна реєстрація зміни натягу тросів, просторового положення трикутної конструкції та зміщення лазерної точки на поверхні ґрунту забезпечує взаємне дублювання вимірювань і дозволяє достовірно розрізняти локальні та системні деформації. Це виключає помилкові спрацьовування, характерні для акустичних та вібраційних методів, і підвищує надійність діагностичних висновків.

Використання лазерного модуля та засобів фіксації лазерної точки забезпечує отримання наочного, кількісно вимірюваного параметра зміщення, що має пряме координатне позиціонування. Це дозволяє формувати цифрові моделі деформацій відвала в часі, прогнозувати розвиток зсувних процесів та завчасно приймати інженерні рішення щодо стабілізації масиву або коригування технологічних параметрів відсипання.

Спосіб забезпечує автономність і безперервність функціонування системи. Застосування автономного живлення на основі акумуляторів та сонячних батарей дозволяє експлуатувати систему без підключення до зовнішніх джерел енергії протягом тривалого часу. Передача даних до центру моніторингу за допомогою радіоканалу або оптоволоконної лінії у режимі реального часу, що забезпечує оперативне реагування на небезпечні зміни стану відвала без необхідності присутності персоналу в потенційно небезпечній зоні.

Спосіб дозволяє підвищити надійність експлуатації системи у складних природно-кліматичних умовах. Конструктивні елементи стійкі до дії вологи, ультрафіолетового випромінювання, температурних коливань та механічних навантажень.

Спосіб реалізується таким чином.

Для реалізації способу безперервного моніторингу деформацій насипного масиву відвала гірських порід при відкритій розробці родовищ корисних копалин попередньо визначають зовнішній контур укосу відвала і вибирають по периметру не менше трьох майданчиків для установки пікетів. Майданчики розташовують таким чином, щоб між ними можна було утворити рівносторонню трикутну конструкцію, що охоплює контрольовану зону відвала. Пікети можуть встановлювати в зонах де найімовірніше зсув поверхні відвала.

У вибраних точках виконують неглибокі свердловини під анкерні опори, встановлюють пікети, що виготовляються з антикорозійного матеріалу, наприклад з нержавіючої сталі, алюмінієвого сплаву або армованого композиту. Нижню частину кожного пікету обладнають анкерним вузлом з різьбовою втулкою або розпірним елементом, що забезпечує міцне закріплення в ґрунті. Після встановлення пікети вирівнюють по вертикалі і фіксують у проєктному положенні цементним або полімерним розчином, що забезпечує їхню нерухомість.

Після завершення встановлення всіх пікетів виконують монтаж тросів. Для цього до вершин пікетів кріплять троси з матеріалу з високою міцністю та низьким коефіцієнтом розтягування, наприклад з нержавіючої сталі, кевлару або арамідного волокна. Кінці тросів закріплюють на шарнірних чи хомутових вузлах із можливістю регулювання натягу. Після з'єднання всіх трьох пікетів одержують трикутну просторову конструкцію з рівними довжинами сторін.

Конструкцію розміщують над поверхнею відвала на висоті не менше п'яти метрів від поверхні, що вибирається, виходячи з конфігурації місцевості та умов безпеки. Після встановлення конструкції виконують перевірку геометричних розмірів та рівності довжин тросів з використанням рулеткових або лазерних вимірювачів.

До трикутної конструкції закріплюють датчик натягу. Кожен датчик монтують у вузлі з'єднання троса та пікету. Після монтажу перевіряють електричні з'єднання та герметичність корпусів датчиків. Датчики укомплектовують автономними джерелами живлення.

У центральній частині трикутної конструкції на перетині медіан встановлюють лазерний випромінювач. Кріплення виконують на платформі з можливістю точного регулювання кута нахилу. Оптичну вісь лазерного випромінювача орієнтують вертикально донизу. Лазер вибирають із довжиною хвилі в діапазоні 500-550 нанометрів, що є оптимальним для фіксації променя на поверхні відвала.

Після встановлення лазера перевіряють стійкість кріплення та проводять пробне включення для візуальної оцінки напрямку променя.

Всю конструкцію, що включає трикутну конструкцію та лазерний модуль, закріплюють до герметичної підйомної оболонки. Для цього готують оболонку з матеріалу, вибраного із групи: поліетилен високої щільності, ПВХ або термополіуретан. В оболонку встановлюють фланцеві кільця для кріплення до конструкції та патрубок для подачі легкого газу. Оболонку наповнюють гелієм або воднем до досягнення підйомної сили, що забезпечує компенсацію ваги конструкції та утримання її у проектному положенні.

В оболонку вбудовують систему регулювання тиску з автоматичним клапаном, що підтримує заданий внутрішній тиск.

На оболонці, за необхідності, монтують засоби захисту від птахів, встановлюють дрібнокомірчасту сітку, кріплять пластикові шипи та світловідбиваючі елементи, розміщують муляжі живих птахів, а також звукові та ультразвукові відлякувачі.

Після завершення монтажу конструкції виконують юстування тросів та калібрування датчиків. Потім проводять калібрування лазерного випромінювача, поєднуючи положення лазерної мітки з контрольною міткою поверхні відвала. У зоні падіння лазерного променя встановлюють пристрій реєстрації лазерної світлової мітки. Наприклад, це може бути камера з фотодетекторною матрицею. Фотодетекторна матриця може бути виконана у вигляді увігнутого дзеркала, що забезпечить більше "захоплення" променя лазера.

Пристрій фіксації лазерної світової мітки встановлюють на обладнаному майданчику і орієнтують його вгору - у напрямку лазера.

Роботу пристрою фіксації лазерної світової мітки синхронізують із GPS-трекером. Сигнал GPS-трекера використовують для формування тимчасових міток, що збігаються з часом зйомки та моментами зняття показань із датчиків натягу. Після включення всіх елементів системи перевіряють одночасність фіксації подій та коректність передачі даних.

У процесі експлуатації пристрій реєстрації безперервно фіксує координати лазерної мітки. Датчики на тросах синхронно передають значення натягу. Всі дані надходять до центру моніторингу радіоканалом або оптоволоконною лінією. Передача даних виконується пакетами, кожен із яких містить значення часу, координат та виміряного натягу.

У центрі моніторингу приймають і записують дані, що надходять, виконують їх первинну обробку і розрахунок геометричних параметрів. З даних натягу обчислюють зміну довжини тросів. Потім визначають просторове положення трикутної конструкції щодо вихідних координат. Далі обчислюють координати лазерної точки, яка лежить на поверхні відвала. Різниця поточних та вихідних координат визначає зміщення елементів конструкції та, відповідно, деформацію насипного масиву.

Виконані вимірювання автоматично зберігаються до архіву системи. Перед записом дані забезпечуються міткою часу та координатами вимірювального блока.

Відповідно до встановленого терміну, виконують калібрування вимірювальних блоків. Для цього конструкцію переводять у вихідний стан, натяг тросів вирівнюють, лазер направляють на базову контрольну точку. Показання датчиків записують як еталонні. Перевіряють тиск в оболонці за допомогою вбудованого манометра. У разі відхилення тиску від встановленого значення система регулювання автоматично відкриває або закриває клапан для відновлення норми.

При зміні геометрії відвала, пов'язаної з нарощуванням або підрізуванням укосу, переміщують конструкцію. Для цього послаблюють троси, змінюють положення пікетів або встановлюють нові анкери, потім повторюють монтаж та юстування конструкції. Після кожного перенесення виконують повторне налаштування датчиків, лазера та пристрою реєстрації.

Для забезпечення стабільності роботи системи при вітрових навантаженнях контролюють стан кріплення тросів та анкерів, перевіряють відсутність провисання. При виявленні пошкоджень троси замінюють, а натяг доводять до необхідного значення.

Для повноти моніторингу поточного стану атмосфери можуть додатково використовуватися датчики швидкості та напрямки руху вітру, а також датчики температури та атмосферного тиску, які встановлюють біля пікетів та на вершині біля лазера.

Періодично виконують перевірку цілісності оболонки. При виявленні витоку газу оболонку ремонтують чи замінюють. Засоби відлякування птахів за необхідності оновлюють та перевіряють їхню працездатність.

Після накопичення даних система виконує регулярне оновлення параметрів калібрування та тимчасової синхронізації. Алгоритми обробки сигналу коригуються з урахуванням накопичених даних підвищення точності вимірювань.

Результати моніторингу фіксуються у базі даних у вигляді часових рядів координат та натягу. Усі параметри зберігаються для подальшого аналізу та формування звітних файлів.

Описаний порядок операцій забезпечує виконання всіх стадій способу - від встановлення пікетів та формування трикутної конструкції до реєстрації лазерної мітки та передачі вимірних даних у центр

моніторингу, при цьому послідовність дій забезпечує можливість безперервного контролю зсувів наспинного масиву відвала в процесі його експлуатації.

Після введення системи в експлуатацію здійснюється безперервний цикл її роботи, що включає автоматичну реєстрацію, передачу, перевірку та оновлення вимірювальних параметрів. У процесі роботи пристрою реєстрації виконують послідовне фіксування координат лазерної мітки як безперервного спостереження. Фотодетекторна матриця передає зображення до центру обробки, де відбувається аналіз зміщення координат лазерної світлової мітки щодо вихідного базового положення. Водночас датчики натягу, які встановлені на вершинах трикутної конструкції, безперервно вимірюють поточне значення зусиль у тросах.

Сигнали від усіх датчиків надходять у керуючий блок, де відбувається первинне оцифрування та тимчасова прив'язка до сигналу GPS-трекера. Задля більшої синхронності роботи всієї системи використовується єдина координатно-часова мітка. Всі параметри у вигляді цифрових пакетів передаються радіоканалом або оптоволоконною лінією зв'язку в центр моніторингу. На приймальній стороні дані декодуються, проходять перевірку на цілісність, після чого зберігаються у базі даних.

Періодично виконується звірка часу роботи всіх елементів системи з еталонним сигналом GPS-трекера, що унеможливорює накопичення тимчасових помилок. Один раз у заданий інтервал виконується автоматична перевірка рівня сигналу кожного датчика та наявності відхилень у показаннях. При виявленні розбіжностей система формує службове повідомлення та передає його оператору.

У ході штатної експлуатації контролюється заряд акумуляторів, що живлять датчики. При зниженні напруги нижче за заданий рівень включається режим пріоритетного живлення від сонячних панелей. У разі потреби здійснюється підзарядка акумуляторів від зовнішнього джерела.

Контроль герметичності оболонки виконується шляхом вимірювання внутрішнього тиску за допомогою вбудованого датчика. У разі відхилення тиску від заданого діапазону автоматичний клапан відкривається або закривається, компенсуючи надлишковий або недостатній тиск. Один раз на квартал перевіряється цілісність матеріалу оболонки візуально та за допомогою ультразвукового детектора витоків газу. При виявленні ушкоджень проводиться ремонт чи заміна оболонки.

Для підтримки точності вимірювань виконується планове калібрування всієї системи. Калібрування включає послідовну перевірку датчиків натягу з використанням еталонних навантажень, перевірку положення лазерного випромінювача щодо вертикалі та точне поєднання лазерної мітки з еталонною контрольною точкою. Після виконання всіх операцій фіксуються оновлені калібрувальні коефіцієнти, що записуються в пам'ять системи.

У процесі тривалої експлуатації система періодично адаптується до умов відвала, що змінюються. При зміні конфігурації укосу або нарощуванні масиву виконують коригування положення пікетів та трикутної конструкції. Для цього демонтують один або кілька пікетів, виконують нові отвори анкерні і переносять конструкцію на нову позицію. Після встановлення конструкції повторно виконуються операції з натягу тросів, вирівнювання конструкції та калібрування.

Операторський пункт системи обладнується інтерфейсом відображення даних, на якому візуалізуються поточні значення координат лазерної мітки, зусилля натягу у тросах, стан живлення та тиску в оболонці. Періодичність оновлення даних встановлюється програмно, як правило, не рідше одного разу на хвилину.

При різних погодних змінах або сильних поривах вітру система фіксує дані про зовнішній вплив та вносить поправки до розрахунку координат конструкції. Ці коригувальні коефіцієнти записуються в пам'ять контролера і використовуються при обробці сигналів для виключення хибних показань.

У разі виявлення нестабільності або можливого усунення конструкції система фіксує координати, час та величину зміни.

Обслуговування передбачає також періодичну перевірку оптоволоконної чи радіоканальної лінії зв'язку. Для цього виконується тест передачі контрольних пакетів, вимірюється рівень сигналу та час відгуку. При зниженні якості зв'язку здійснюється регулювання антен, заміна кабелів або повторне налаштування мережного обладнання.

У межах тривалого функціонування виконується резервне копіювання бази даних із вимірами на зовнішній носій. Копіювання проводиться автоматично через задані інтервали часу. Для захисту застосовується шифрування.

Виконується комплексне технічне обслуговування всієї системи. Воно включає перевірку цілісності анкерів пікетів, заміну тросів за наявності зношування, перевірку електричних з'єднань, тестування всіх датчиків натягу, перевірку оптики лазерного випромінювача та калібрування пристрою фіксації лазерної світлової мітки. Після завершення обслуговування складається акт технічної перевірки із фіксацією параметрів, що підтверджують готовність системи до подальшої експлуатації.

У разі потреби зміни конфігурації відвала внаслідок гірничих робіт виконується перенесення системи моніторингу. Для цього створюють нові пікети, встановлюють анкерні кріплення та монтують тросову конструкцію на новому місці. Далі повторюють послідовність операцій: встановлення датчиків,

підключення джерел живлення, монтаж оболонки, наповнення газом, встановлення засобів відлякування птахів, юстування, калібрування та введення в робочий режим.

Спосіб забезпечує можливість інтеграції із зовнішніми геодезичними орієнтирами. Для цього виконують періодичну звірку координат лазерної мітки з контрольними точками, закріпленими поза зоною можливих деформацій.