

Корисна модель належить до галузі гірничої справи, геомеханіки та інженерної геодезії і може бути використана для контролю стійкості насипних масивів, утворених при складуванні розкритих порід, технологічних відвалів, а також при спорудженні дамб, насипів, териконів та інших штучних утворень із сипких або слабозв'язаних гірничих порід.

Система призначена для безперервного моніторингу стану укосів, фіксації деформацій та зсувів, що виникають у тілі відвала в процесі його експлуатації, і може використовуватися як при проведенні гірничих робіт відкритим способом, так і експлуатації об'єктів гірничодобувної промисловості на стадії рекультивації.

Система може бути впроваджена на вугільних, рудних, будівельних та хімічних підприємствах, де потрібен постійний контроль стійкості відвалів, хвостосховищ та складів мінеральної сировини.

Система є ефективною для геомоніторингу в сейсмічно активних районах, зонах інтенсивного водонасичення ґрунтів, а також за умов техногенних впливів, що спричиняють зсуви та деформації масиву. Застосування системи є доцільною також для контролю стійкості схилів при будівництві автомобільних та залізничних насипів, захисних валів, гідротехнічних споруд та інженерних споруд, що зводяться на нестабільних ґрунтах.

Крім цього, система може бути використана науково-дослідними та проектними організаціями для вивчення процесів деформування гірських порід, моделювання поведінки насипних структур та перевірки інженерних розрахунків стійкості.

Завдяки модульній архітектурі та автономному енергозабезпеченню, система є придатною для експлуатації у важкодоступних і віддалених регіонах, зокрема під час проведення інженерно-геологічних вишукувань, технічного нагляду та екологічного моніторингу.

Відомий пристрій, реалізований у способі контролю стійкості відвала гірських порід, який заснований на застосуванні металоводів, що виконують функції як опорних елементів, так і акустичних датчиків, що фіксують сигнали акустичної емісії, що виникають при терті та зсувах кусків породи в масиві відвала (патент України на корисну модель № 33717, опубл. 10.07.2008, Бюл. № 13).

Недоліком відомого пристрою є те, що його принцип роботи заснований на реєстрації акустичних імпульсів, що поширюються в товщі відвальних порід, що робить вимірювання вкрай залежними від гранулометричного складу, вологості та густини порід.

Оскільки структура відвала неоднорідна, акустичні сигнали спотворюються, поглинаються чи розсіюються, що призводить до значних помилок у визначенні реального стану та характеру зон деформації. Пристрій лише фіксує сумарну активність акустичних джерел в обмеженому обсязі, що не дозволяє достовірно оцінити геометрію призми можливого зсуву.

Металеві хвилеводи, що закладаються в тіло відвала під дією власної ваги, не забезпечують стабільності становища. У процесі ущільнення та осідання порід вони деформуються, зміщуються та частково втрачають контакт з навколишньою масою, що призводить до зміни чутливості та неможливості повторного калібрування датчиків. Фактично пристрій перестає адекватно визначати зміни напружено деформованого стану масиву вже після перших циклів відсипання.

Відсутня централізована система передачі даних у моніторинговий пункт та не передбачена можливість дистанційного спостереження. Пристрій не здатний працювати автономно в умовах несприятливих погодних факторів, не має захисту від вологи та перепадів температур, а також не має джерел незалежного живлення.

Відомий пристрій не забезпечує достовірного, безперервного та автоматизованого контролю стану відвала гірських порід. Він має обмежену інформативність, низьку просторову точність, вразливість до експлуатаційних впливів і не дозволяє в режимі реального часу відстежувати динаміку зсувів і прогнозувати зсувні процеси.

Найбільш близьким аналогом корисної моделі є пристрій, реалізований у способі контролю стійкості відвала гірських порід, що містить засоби контролю моніторингу стану поверхні відвала з можливістю передачі даних до центру моніторингу (патент України на корисну модель № 51527, опубл. 26.07.2010, Бюл. № 14).

Відомий пристрій для контролю стійкості відвала гірських порід, що містить систему металевих хвилеводів, які розміщуються в тілі відвала і підключаються до геофонів для реєстрації акустичних сигналів деформацій, має ряд конструктивних і функціональних недоліків, що обмежують його надійність, довговічність і точність вимірювань.

Перш за все, основний компонент пристрою - металевий хвилевід, який виконує функцію акустичного передавача, є конструктивно вразливим елементом. В умовах відвала, де присутні значні перепади температури, вологості, хімічно активні стоки та механічний тиск породи, метал піддається корозії, деформації та частковому руйнуванню. Це призводить до порушення акустичної провідності, виникнення паразитних відображень і спотворення амплітудно-частотних характеристик сигналів, що передаються. Таким чином, пристрій втрачає метрологічну стабільність і вимагає постійного обслуговування або заміни елементів, що в тілі відвала практично неможливо зробити.

Істотним недоліком є ненадійність контакту хвилеводів із гірською масою. У відомій конструкції хвилеводи розміщуються в свердловинах і засипаються гравієм або щебенем, що не забезпечує

стабільного механічного сполучення з породою. При ущільненні масиву або його осаді виникають зазори та порожнини, що порушують акустичний контакт. В результаті пристрій фіксує помилкові або запізнювальні сигнали, що знижує точність та достовірність оцінки стану відвала.

Оскільки хвилеводи та датчики знаходяться у важкодоступних зонах, перевірити коректність передачі сигналу без повного демонтажу неможливо. Будь-яке пошкодження кабельних сполук, включаючи окислення контактів, залишаються непоміченими до виникнення критичних ситуацій.

Конструкція пристрою не передбачає просторової адресності реєстрації сигналів. Хвилеводи передають усереднений акустичний відгук від значного об'єму породи, тому пристрій не дозволяє локалізувати конкретну зону активізації деформацій. Це унеможливорює точне визначення положення поверхні ковзання або виявлення початкових зон нестабільності.

Також пристрій не адаптований до автоматизованого чи дистанційного режиму спостереження. Геофони, що використовуються, вимагають дротового підключення та локального зчитування інформації, що виключає можливість постійного моніторингу в режимі реального часу та передачі даних на диспетчерський пункт.

Задачею, що вирішується корисною моделлю, є створення автономної, високоточної та довговічної системи для контролю стійкості відвала гірських порід, що забезпечує безперервне спостереження за зміною просторового положення елементів відвала, фіксацію найменших деформацій та зміщень породного масиву, а також формування достовірної інформації про стан поверхні та внутрішніх шарів відвала у реальному часі.

Відомі аналоги, засновані на застосуванні металевих хвилеводів та акустичних датчиків, не дозволяють забезпечити необхідну точність просторової локалізації деформацій, оскільки реєструють лише інтегральні акустичні сигнали без прив'язки до координат. Тому однією із задач корисної моделі є усунення необхідності фізичного контакту вимірювальних елементів з гірською масою при одночасному збереженні високої чутливості системи.

Важливою задачею є забезпечення просторово-безперервного контролю стану відвала по всій його протяжності та глибині, що досягається використанням системи, здатної фіксувати величину (розмір) мікрозміщень. Це дає змогу виявляти момент виникнення деформації, а також визначати вектор і швидкість її подальшого розвитку.

Крім цього, задача корисної моделі полягає у підвищенні надійності та автономності системи. Корисна модель передбачає можливість тривалої роботи без зовнішнього електроживлення та з мінімальними витратами на обслуговування, що досягається за рахунок використання енергоефективних компонентів та інтеграції із системою дистанційної передачі даних.

Система адаптована до умов експлуатації у складних кліматичних та геологічних зонах, де традиційні системи втрачають працездатність.

Нарешті, задачею є створення системи, що забезпечує синхронну обробку даних від датчиків, лазерних джерел та навігаційних систем для формування єдиної картини стійкості відвала, включаючи прогнозування небезпечних деформацій.

Поставлені задачі вирішуються за рахунок того, що система безперервного моніторингу деформацій насипного масиву відвала гірських порід під час відкритої розробки родовищ корисних копалин, що містить пристрої контролю стану поверхні відвала, які виконані з можливістю безперервного збору і передачі даних в центр моніторингу, згідно з корисною моделлю, містить пікети, які встановлені на попередньо вибраних ділянках місцевості та виконані у вигляді стрижневих елементів.

Довжина кожного стрижневого елемента становить не менше одного метра, причому пікети з'єднані до тросів, що мають високу міцність на розрив і низьку деформацію при розтягуванні.

Троси іншими кінцями з'єднані з вершинами жорсткої рівнобедреної трикутної конструкції і забезпечені датчиками натягу тросів, крім цього трикутна конструкція забезпечена лазерним модулем, жорстко закріпленим за допомогою стрижнів на опорному вузлі.

Лазерний модуль виконаний з можливістю генерування безперервного променя довжиною хвилі в діапазоні 500-550 нанометрів, спрямованого вертикально вниз, при цьому трикутна конструкція підвішена на висоті більше 5 метрів за допомогою повітряної підйомної оболонки, виконаної з герметичного газонепроникного матеріалу, заповненої газом, легшим атмосферного повітря з можливістю регулювання тиску.

На поверхні відвала гірських порід розміщено засіб фіксації лазерного променя, який виконаний з можливістю, синхронізації із системою GNSS і можливістю передачі даних у центр моніторингу в режимі реального часу.

Технічний результат від реалізації системи полягає в забезпеченні безперервного, автономного і високоточного контролю стійкості відвала гірських порід за рахунок реєстрації деформацій і зсувів насипного масиву в реальному часі, що дозволяє завчасно виявляти початкові стадії дестабілізації укосу і запобігати розвитку аварійних ситуацій.

Використання сукупності взаємопов'язаних конструктивних елементів забезпечує досягнення комплексного технічного результату, що полягає у підвищенні точності, надійності та оперативності геомоніторингу за мінімальних енергетичних та експлуатаційних витрат.

Застосування опорних пікетів створює просторову базу геометричної стабілізації вимірювальної системи. Таке розташування дозволяє отримувати точні дані про зсув порід за трьома координатними напрямками, що підвищує достовірність результатів спостережень.

Кріплення пікетів у стійкому ґрунті з використанням анкерних пристроїв забезпечує незмінність вихідних координат та виключає систематичні помилки, які пов'язані з власними переміщеннями опор. Це дає можливість реєструвати навіть мінімальні деформації.

Введення в конструкцію натяжних тросів із матеріалів з низькою деформованістю та високою міцністю дозволяє зберігати стабільність просторової конфігурації трикутної конструкції при впливі зовнішніх факторів.

Для врахування впливу природних факторів у момент отримання хронологічних даних, що використовуються для формування інформаційних хронологічних рядів даних системи безперервного моніторингу деформацій насипного масиву відвала гірських порід, до складу системи додатково можуть бути включені датчики контролю параметрів природного середовища, що виконані з можливістю реєстрації швидкості вітру, температури навколишнього середовища, вологості та інших характеристик, які впливають на точність оцінки деформаційного стану відвала. Крім цього, для підвищення достовірності моніторингу до складу системи можуть бути додатково включені GNSS-приймачі.

Датчики натягу забезпечують реєстрацію змін зусиль, що виникають під час зсувів ґрунту, що дає додатковий параметр для оцінки динаміки деформацій.

Зіставлення даних обліку впливу природних факторів, даних щодо натягу тросів з координатами лазерної проекції забезпечує багатоканальний контроль, що підвищує точність діагностики та достовірність оцінки стану укосу.

Використання трикутної конструкції у вигляді несучої рами дозволяє забезпечити жорсткий взаємозв'язок між точками кріплення тросів і лазерним модулем, виключаючи паразитні коливання та спотворення вимірювань. Таке конструктивне рішення забезпечує передачу навіть малих змін напряму лазерного променя, цим підвищуючи чутливість системи. Центрування лазера в геометричному центрі трикутника забезпечує симетричність сприйняття навантажень та стабільність кутової орієнтації випромінювача.

Застосування автономного лазерного модуля та датчиків з автономним джерелом живлення дозволяє реалізувати роботу системи без підключення до зовнішніх джерел енергії. Це забезпечує тривале функціонування системи у віддалених та важкодоступних районах.

Навіть мінімальні переміщення пікетів викликають відхилення проекції променя, що дає можливість фіксувати початкові стадії деформацій з високою часовою дискретністю.

Повітряна підйомна оболонка, яка виконана з легкого та міцного матеріалу, забезпечує стабільне утримання конструкції на постійній висоті, компенсуючи вітрові коливання та забезпечуючи необхідну вертикальну жорсткість системи. Стійкість оболонки до зовнішніх впливів та її захист від механічних пошкоджень гарантують надійну роботу системи протягом тривалого часу за будь-яких погодних умов. Це підвищує експлуатаційну надійність та знижує витрати на технічне обслуговування.

Засіб фіксації точки лазерного променя, що містить, наприклад, камеру з вузькосмуговим фільтром та фотодетекторною матрицею, забезпечує точну візуалізацію та реєстрацію координат зміщення лазерної плями на денній поверхні.

Синхронізація вимірювань з GNSS модулем забезпечує виключення тимчасових похибок при тривалому моніторингу та дозволяє формувати достовірні хронологічні ряди даних системи безперервного моніторингу деформацій насипного масиву відвала гірських порід при відкритій розробці родовищ корисних копалин, що забезпечує можливість аналізу тенденцій зміни стійкості відвала. Передача інформації до центру моніторингу радіоканалу або через оптичне волокно забезпечує миттєву передачу сигналів і можливість віддаленого спостереження.

Сукупність вищевказаних ознак забезпечує досягнення комплексного технічного результату, що полягає в реалізації автономної системи безперервного геомоніторингу, здатної реєструвати найменші деформації укосів та оцінювати напрямок та інтенсивність зсувів. Це дозволяє суттєво підвищити рівень техногенної безпеки під час відкритих гірничих робіт, мінімізувати ризик руйнування відвальних споруд та знизити шкоду навколишньому середовищу та обладнанню.

Таким чином, реалізація корисної моделі забезпечує інтегральний технічний результат у вигляді підвищення точності, чутливості, автономності та довговічності системи контролю стійкості відвала, що неможливо при використанні відомих аналогів того ж призначення.

Корисна модель пояснюється кресленнями, де на фіг. 1 показана просторова схема компонування системи; на фіг. 2 - схема системи розташованої в зоні розміщення відвала.

Система безперервного моніторингу деформацій насипного масиву відвала гірських порід під час відкритої розробки родовищ корисних копалин містить пікети 1, встановлені навколо укосу відвала

гірських порід 2. Пікети 1 з'єднані до тросів 3. Троси 3 іншими кінцями з'єднані з вершинами жорсткої рівнобедреної трикутної конструкції 4 і забезпечені датчиками натягу 5 тросів 3.

Трикутна конструкція 4 забезпечена лазерним модулем 6, жорстко закріпленим за допомогою стрижнів 7 в геометричному центрі трикутної конструкції 4.

Конструкція 4 підвішена на висоті понад п'ять метрів за допомогою підйомної повітряної оболонки 8.

На поверхні відвала гірських порід 2 розміщено засіб фіксації 9 лазерного променя 10, наприклад у вигляді оптичної камери, забезпеченої, наприклад, фотодетекторної матрицею з вузькосмуговим фільтром.

Під час зміщення гірських порід у відвалі відбувається відхилення лазерного променя 10, яке реєструється засобом фіксації 9.

Система реалізується у вигляді сукупності взаємопов'язаних конструктивних та функціональних елементів, що забезпечують можливість постійного спостереження за змінами просторового положення поверхні відвала, фіксації найменших зсувів та передачі відповідних даних до центру моніторингу в режимі реального часу.

На території відвала 2 або на прилеглій до відвала території на попередньо вибраних ділянках місцевості встановлюються пікети 1, що виконують функцію опорних вузлів кріплення тросової системи 3. Кожен пікет 1 є стрижневим елементом циліндричної форми, виготовленим переважно із антикорозійного матеріалу з анкерною фіксацією в ґрунті.

Довжина кожного пікету 1 становить щонайменше одного метра. Нижня частина пікету 1 забезпечена анкерними сполуками, які заглиблюються в ґрунт на глибину, що забезпечує якісну взаємодію з насипним масивом відвала гірських порід. Анкерні з'єднання можуть бути виконані у вигляді металевих штирів, за необхідності забезпечених наконечниками, що розширюються.

Пікети 1 з'єднуються з тросами 3 для формування просторової системи, що сприймає зміни геометрії укосу. Троси 3 виготовлені з матеріалів з високою міцністю на розрив та низьким коефіцієнтом подовження при розтягуванні, наприклад з арамідних або вуглецевих волокон, укладених у захисну оболонку, стійку до дії ультрафіолетового випромінювання, вологи, температурних перепадів та механічного стирання.

Кінці тросів 3 фіксуються на пікетах 1 за допомогою регульованих муфт та натяжних замків, що дозволяють здійснювати подальшу корекцію в процесі експлуатації.

До тросів 3 закріплені датчики натягу 5 тросів 3, які здійснюють безперервну реєстрацію зусиль, що виникають при зміні положення пікетів 1 та зсувах масиву. Датчики 5 забезпечені автономною системою живлення, наприклад акумуляторний блок та сонячну батарею, що гарантує їхню безперебійну роботу протягом заданої кількості часу за відсутності зовнішнього електроживлення.

У центральній зоні контрольованої ділянки троси 3 сходяться до вершин жорсткої трикутної конструкції 4, що виконує функцію просторового каркаса та опорою для розміщення вимірювальних та комунікаційних елементів системи. Конструкція 4 виконана з легкого металевого сплаву, наприклад алюмінієвого або титанового, що забезпечує поєднання міцності, малої маси та стійкості до корозії.

Геометрія трикутної конструкції 4 визначається експериментально на основі топографічних даних та конфігурації укосу. При цьому сторони трикутника 4 підбираються таким чином, щоб кути становили близько 60°, що забезпечує рівномірне розподілення навантажень між тросами.

Трикутна конструкція 4 підвішується на висоті щонайменше 5 метрів над денною поверхнею, що забезпечує стабільні умови спостереження. У геометричному центрі жорсткої трикутної конструкції 4 за допомогою стрижнів 7 зафіксовано лазерний модуль 6, що формує безперервний промінь 10 зеленого діапазону з довжиною хвилі 500-550 нанометрів.

Лазерний модуль 6 встановлений таким чином, щоб його вісь була строго орієнтована у напрямку спеціально обраної контрольної точки на земній поверхні. Промінь проєктується на поверхню майданчика, обладнаного засобами фіксації 9 лазерної точки. Жорстке кріплення лазерного модуля 6 виключає паразитні коливання та забезпечує високу стабільність напрямку випромінювання.

Для компенсації маси конструкції та підтримки її на заданій висоті використовується повітряна підйомна оболонка 8, яка закріплена у верхній частині трикутної конструкції 4. Оболонка 8 виконана з герметичного та газонепроникного матеріалу. Внутрішній об'єм оболонки 8 заповнений легким газом, який легший за повітря, переважно гелієм або воднем, що створює підйомну силу, достатню для утримання всієї системи в рівновазі. Оболонка 8 має регулюючий клапан, що дозволяє змінювати тиск і компенсувати температурні коливання.

Для захисту підйомної оболонки 8 від ушкоджень, спричинених взаємодією з птахами, реалізовано комплексну систему відлякування. Вона містить фізичну сітку з поліпропілену або поліетилену, що перешкоджає контакту птахів поверхнею оболонки; шипи із легкого металу, що перешкоджають посадці птахів; фольговані дзеркальні елементи, що створюють світлові відблиски; а також візуальні відлякувачі у вигляді силуетів хижих птахів.

Додатково можуть застосовуватися акустичні пристрої - ультразвукові випромінювачі та біоакустичні генератори, що відтворюють сигнали тривоги. Зовнішня поверхня оболонки 8 може бути покрита камуфляжним шаром, що знижує її помітність на тлі неба та навколишнього ландшафту.

Для реєстрації положення лазерної плями на земній поверхні використовується один із спеціалізованих засобів фіксації 9, вибраний залежно від умов експлуатації. Наприклад, як такий засіб може застосовуватися оптична камера з вузькосмуговим фільтром, що пропускає виключно довжину хвилі променю 10 лазерного модуля 6.

Пристрій синхронізований із системою GNSS для точного визначення координат.

Як альтернатива може використовуватися флуоресцентне покриття, нанесене на майданчик. Воно реагує світінням на опромінення лазером, що дозволяє фіксувати зміщення плями променя 10 візуально або за допомогою засобів відеоспостереження.

Передача інформації від датчиків натягу 5, оптичних засобів фіксації та лазерного модуля 6 до центру моніторингу здійснюється за допомогою радіоканалу або оптичного волокна.

Радіоканал використовується в умовах, коли кабельна прокладка неможлива або з інших причин, при цьому застосовуються захищені протоколи зв'язку з низьким енергоспоживанням і високою стійкістю до перешкод. За наявності можливості прокласти лінію зв'язку переважно використання світловолоконної оптики, що забезпечує передачу великих обсягів даних без втрат та затримок. Усі параметри реєструються у режимі реального часу, що дозволяє оператору центру моніторингу миттєво реагувати на зміну стану укосу гірських порід 2.

При деформації масиву відвала відбувається зміщення пікетів 1, внаслідок чого змінюється довжина та натяг тросів 3. Ці зміни фіксуються встановленими датчиками 5, сигнали яких перетворюються на цифрову форму і передаються систему обробки. Одночасно переміщення тросів 3 призводить до зміни просторового положення трикутної конструкції 4 і, як наслідок, зміни орієнтації лазерного променя 10. Зміщення лазерної точки на контрольному майданчику служить видимим та вимірюваним індикатором величини та напрямку деформації.

Отримані дані про зміни натягу тросів 3 використовуються для визначення напрямку та характеру зміщення порід 2, а зміна положення конструкції 4 - для оцінки масштабу зсуву. Система аналізу даних програмно поєднує інформацію про натяг, орієнтацію та координати лазерної плями, формуючи цифрову модель деформації відвала гірничих порід 2 в просторі та часі.

Таким чином, система функціонує як автономний, самозабезпечений та безперервно діючий комплекс моніторингу, що дозволяє виявляти початкові стадії деформацій насипних порід, прогнозувати розвиток зсувних процесів та забезпечувати своєчасне вжиття інженерних заходів безпеки.

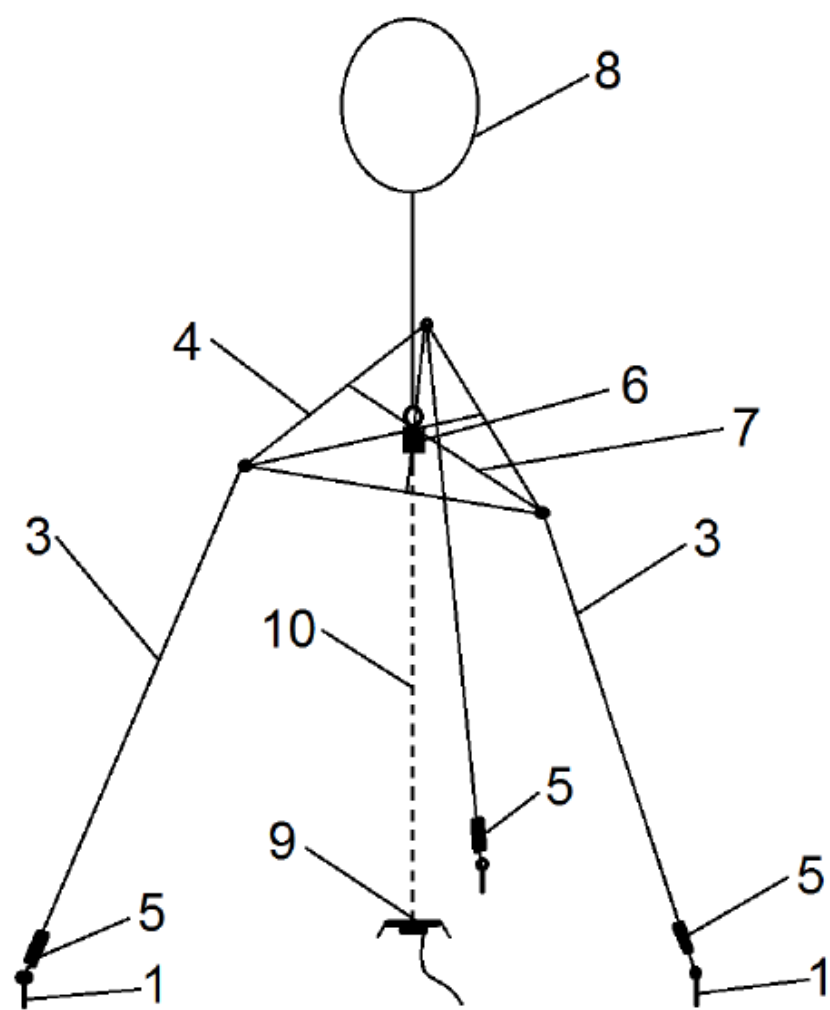


Fig. 1

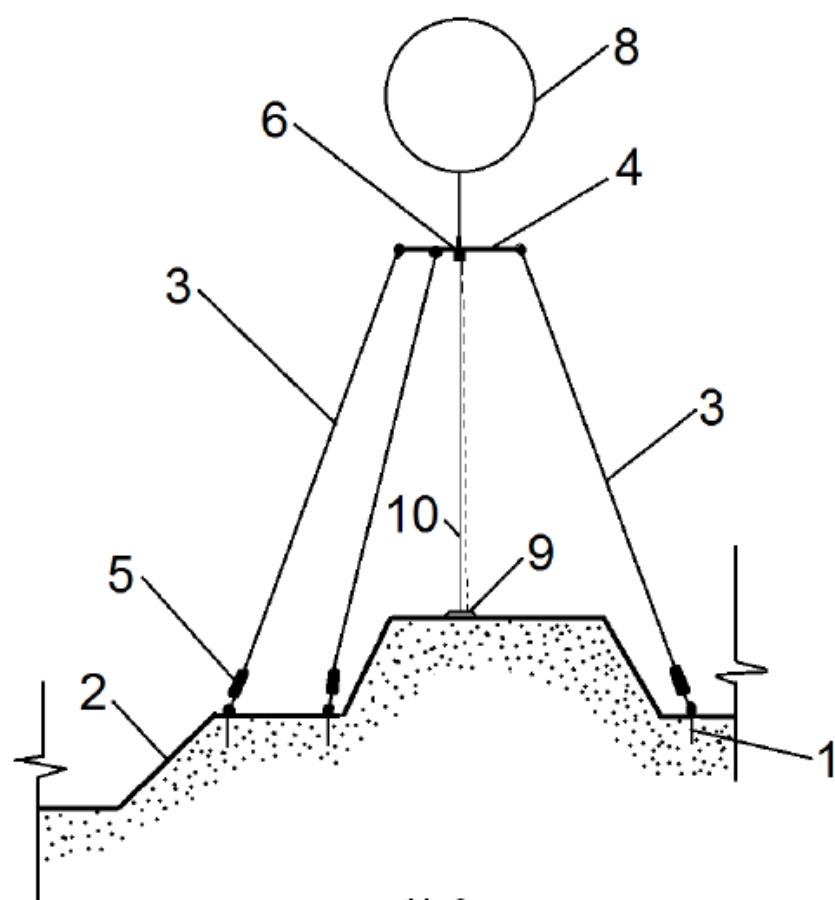


Fig. 2